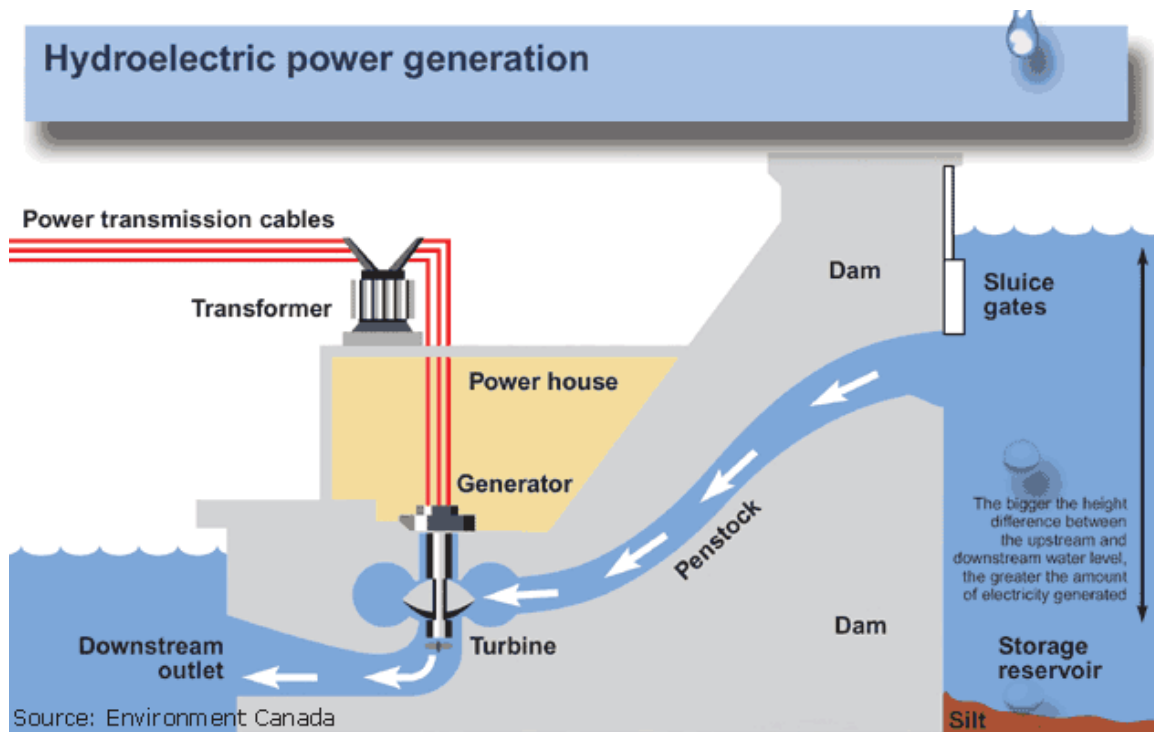


سیستمهای انتقال آب

Water Transmission Systems



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مکانیک

علی جباری مقدم

جریان تراکم ناپذیر در شبکه های لوله کشی

تحلیل و طراحی شبکه های لوله کشی ، مساله نسبتا پیچیده ای است. بویژه اگر شبکه مانند بیشتر شبکه های توزیع آب شهری یا شبکه های گازرسانی دارای تعداد زیادی لوله و اتصالات باشد. در یک تحلیل ساده برای شبکه ای کوچک ، طراح با توجه به تجربه و کارهای مشابه قبلی که انجام داده است می تواند نوع و سایز لوله را تعیین کند اما در یک شهر یا تاسیسات بزرگ ، تحلیل تمام لوله هایی که به مشترکان و مصرف کننده ها آب می رسانند امکان پذیر نیست.

در این مبحث ، فقط مسایل مربوط به حالت پایدار^۱ بررسی می شود. در شبکه های توزیع آب ، تحلیل وضعیت پایدار در مشخص کردن اینکه آیا شبکه کارایی لازم را دارد یا خیر بسیار مهم است. هر زمانی که الگوی مصرف عوض شود و یا سیستم انتقال آب گسترش یافته، دچار تغییر و تحول اساسی گردد لازم خواهد بود این تحلیل دوباره انجام گیرد.

حالت پایدار در شرایطی بررسی می شود که در آن میزان دبی در هر یک از لوله ها بر اساس الگوهای تامین و مصرف تعیین شده باشد. تامین آب ممکن است توسط مخازن و تانکهای ذخیره و یا پمپها صورت گیرد. با داشتن دبی می توان فشار و افت هد را در کل شبکه حساب کرد.

برای حل سیستماتیک مسایل جریان پایدار در سیستمهای انتقال آب از روشهای زیر استفاده می شود:

(۱) روش هاردی - کراس^۲

(۲) روش نیوتن - رافسون^۳

(۳) روش تیوری خطی^۴

این روشها به ترتیب قدمت تاریخی آنها نوشته شده اند.

¹ Steady-state

² Hardy-Cross

³ Newton-Raphson

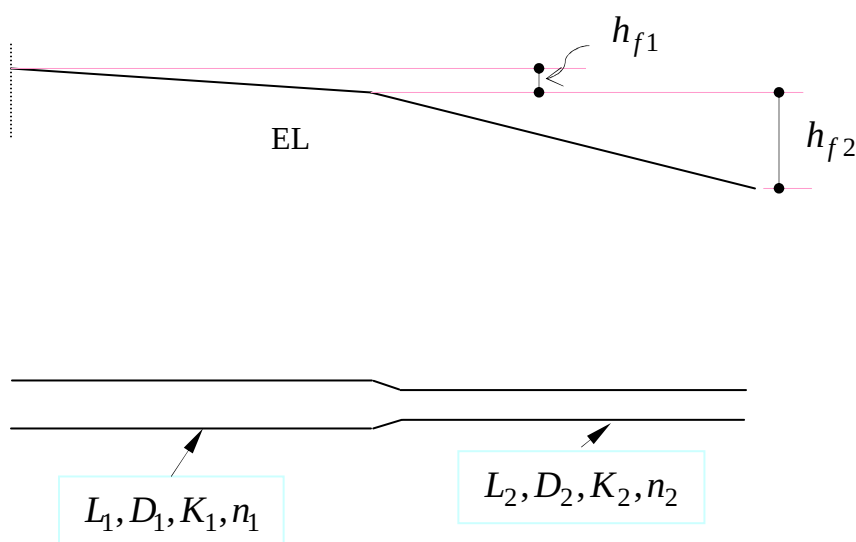
⁴ Linear theory

ساده کردن شبکه های پیچیده لوله کشی

در هر شبکه لوله کشی تعدادی لوله و اتصالات وجود دارد که تا حد امکان می توان آنها را در محاسبات ساده کرد. اگر شبکه لوله کشی دارای مسیرهای موازی یا سری و یا دارای اتصالاتی مانند زانو، شیر فلکه، تبدیل و ... باشد می توان بجای آنها از مفهوم لوله معادل^۱ استفاده کرد. این تعریف در ساده کردن شبکه ها بسیار سودمند است.

(الف) لوله های سری^۲

اگر دو لوله بصورت سری بهم وصل شده باشند دبی این لوله ها با هم برابر است و افت هد کل، برابر مجموع افت هد هر یک از لوله ها می باشد. بنابراین لوله معادل، لوله ایست با قطر ثابت که همین دبی را از خود عبور می دهد و همان افت هد کل را دارد.



شکل (۱)

$$h_{fe} = h_{f1} + h_{f2} + \dots \quad (۱)$$

^۱ Equivalent Pipe

^۲ Series pipes

اگر افت هد را در هر یک از لوله ها بصورت فرمول توانی نشان دهیم :

$$K_e Q^{n_e} = K_1 Q^{n_1} + K_2 Q^{n_2} + \dots = \sum K_i Q^{n_i} \quad (2)$$

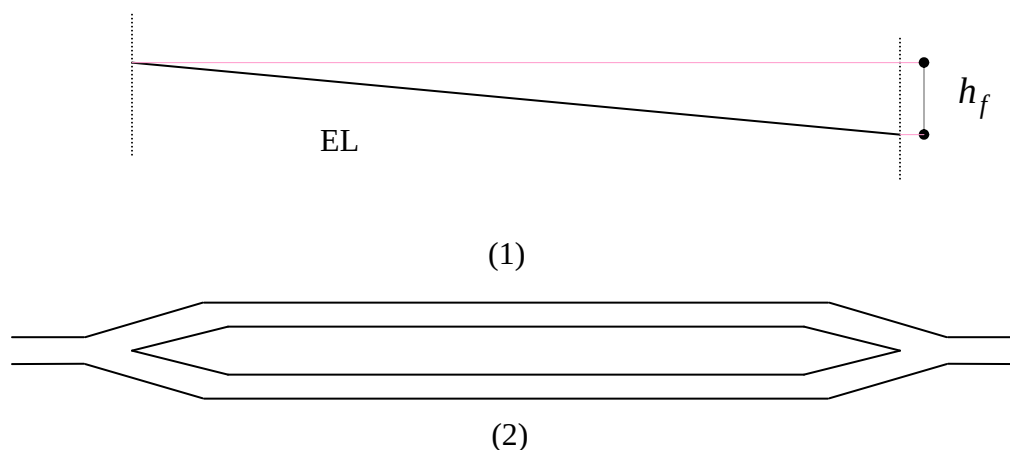
در تحلیل هیدرولیکی شبکه ها ، بایستی ویژگی های K_e, n_e لوله معادل را داشته باشیم. چنانچه از فرمول هیزن - ویلیامز استفاده شود تمام توانها برابر 1.852 خواهد بود ($n = 1.852$) و بنابراین :

$$K_e = K_1 + K_2 + \dots = \sum K_i \quad (3)$$

اگر از فرمول دارسی - ویسباخ استفاده شود توانهای n در رابطه (2) با هم برابر نیستند اما معمولا این نماها آنقدر نزدیک به هم می باشند که n_e برای لوله معادل ، میانگین این نماها در نظر گرفته می شود و برای محاسبه K_e نیز از رابطه (3) بهره می گیریم.

(ب) لوله های موازی¹

اگر دو لوله بصورت موازی بهم وصل شده باشند افت هد در این لوله ها با هم برابر است و دبی کل ، برابر مجموع دبی ها می باشد.



شکل (2)

$$h_f = h_{f1} = h_{f2} = \dots \quad (4)$$

¹ Parallel Pipes

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots = \sum Q_i \quad (5)$$

که چنانچه از فرمول توانی استفاده کنیم خواهیم داشت :

$$\left(\frac{h_f}{K_e}\right)^{\frac{1}{n_e}} = \left(\frac{h_f}{K_1}\right)^{\frac{1}{n_1}} + \left(\frac{h_f}{K_2}\right)^{\frac{1}{n_2}} + \dots \quad (6)$$

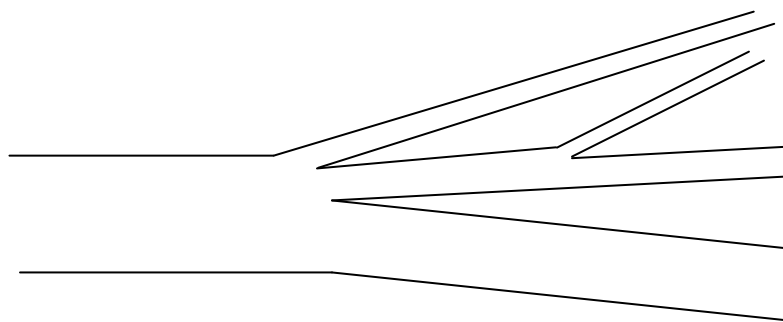
و اگر توانها با هم برابر باشند (در رابطه هیزن - ویلیامز چنین است) می توان h_f را از دو طرف حذف کرد :

$$\left(\frac{1}{K_e}\right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{1}{K_1}\right)^{\frac{1}{n}} + \left(\frac{1}{K_2}\right)^{\frac{1}{n}} + \dots \quad (7)$$

در مورد فرمول دارسی - ویسباخ معمولاً فرض می شود که مقدار n برای تمام لوله ها یکسان است و برای محاسبه K_e در لوله معادل از رابطه (7) استفاده می گردد.

(پ) سیستم شاخه ای^۱

در سیستم شاخه ای تعدادی لوله به یکدیگر متصل شده و شمایی مانند یک درخت را بوجود می آورد. با فرض اینکه جریان از لوله اصلی به سمت لوله های فرعی باشد و با داشتن میزان مصرف یا آب مورد نیاز در پایاب ، می توان مقدار دبی را در هر یک از لوله ها حساب کرد. اگر لوله های فرعی ، لوله اصلی را تغذیه کنند در این شرایط نیز می توان با همین روش ، مقدار دبی ها را محاسبه کرد.



شکل (۳)

در هر حالت، برای محاسبه دبی ، از دورترین شاخه نسبت به لوله اصلی (ریشه درخت) شروع نموده و مقادیر دبی حساب می شود. با داشتن دبی در هر لوله و بکارگیری فرمول دارسی - ویسباخ یا هیزن - ویلیامز ، مقادیر افت هد نیز در هر لوله تعیین می شود.

¹ Branching System

در تحلیل شبکه هایی که سیستم شاخه ای دارند فقط لوله اصلی (با فرض اینکه دبی آن معادل دبی مجموع شاخه هاست) در نظر گرفته می شود. پس از انجام تحلیل شبکه ، فشار در لوله اصلی مشخص می گردد و با کم کردن افت هد مربوط به هر یک از لوله ها از این مقدار ، فشار در هر نقطه از این شبکه شاخه ای قابل محاسبه است.

(ت) اتلاف جزئی^۱

اگر در مسیر لوله کشی وسایلی مانند شیر فلکه ، زانویی ، کنتور و ... وجود داشته باشد افتهای جزئی ناشی از آنها در مقایسه با اتلاف اصطکاکی لوله ، چشمگیر خواهد بود و باید در تحلیل شبکه از مفهوم لوله معادل استفاده شود. لوله معادل به ازای هر مقدار دبی ، افتی برابر مجموع اتلاف اصطکاکی لوله و اتلافهای جزئی خواهد داشت. لوله معادل از طریق اضافه کردن ΔL به طول واقعی لوله به دست می آید به گونه ای که اصطکاک در قسمت افزوده شده برابر با مقدار اتلافهای جزئی می باشد. محاسبه ΔL بسته به اینکه از فرمول دارسی - ویسباخ یا هیزن - ویلیامز استفاده شود متفاوت است.

$$h_l = K_l \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad \text{رابطه اتلاف جزئی :}$$

$$h_f = \left[f \frac{L}{D} \right] \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad \text{فرمول دارسی - ویسباخ :}$$

در صورتیکه دو رابطه بالا را با هم برابر قرار دهیم ΔL چنین خواهد بود :

$$\Delta L = \frac{K_l D}{f} \quad (۸)$$

چون معمولاً f تابع دبی است ΔL نیز به دبی بستگی خواهد داشت ، در عمل برای محاسبه ΔL کافی است جریان را زیر کامل فرض کرده و مقدار f مربوط به آنرا در رابطه (۸) قرار دهیم و اگر اطلاعات مربوط به دبی در دسترس باشد ضریب اصطکاک متناسب با آنرا انتخاب کنیم. واضح است که هر اتصالی که اتلاف جزئی به سیستم تحمیل می کند ΔL خودش را به طول واقعی لوله می افزاید. ضریب K در فرمول توانی (در محاسبه افت اصطکاکی از فرمول دارسی - ویسباخ) را می توان برای لوله معادل از رابطه زیر بدست آورد :

$$K_e = \frac{a(L + \sum \Delta L)}{2gDA^2} \quad (۹)$$

¹ Minor Loss

اگر از فرمول هیزن - ویلیامز استفاده شود :

$$h_f = \frac{10.7L}{C_{HW}^{1.852} D^{4.87}} Q^{1.852}$$

فرمول هیزن - ویلیامز :

در سیستم SI

$$h_f = \frac{4.73L}{C_{HW}^{1.852} D^{4.87}} Q^{1.852}$$

فرمول هیزن - ویلیامز :

در سیستم ES

D و L بر حسب فوت

مقدار افزوده شده ΔL در اثر اتلاف جزیی چنین می شود :

در سیستم SI

$$\Delta L = 0.00773 K_l Q^{0.148} C_{HW}^{1.852} D^{0.8703}$$

(۱۰)

در سیستم ES

$$\Delta L = 0.00532 K_l Q^{0.148} C_{HW}^{1.852} D^{0.8703}$$

و مقدار K در فرمول توانی عبارت است از :

در سیستم SI

$$K_e = \frac{10.7(L + \Delta L)}{C_{HW}^{1.852} D^{4.87}}$$

(۱۱)

در سیستم ES

$$K_e = 4.73 \frac{L + \Delta L}{C_{HW}^{1.852} D^{4.87}}$$

دستگاه معادلات تشریح کننده جریان پایدار در شبکه لوله کشی

تحلیل جریان در شبکه های لوله کشی بر اساس قوانین پیوستگی و انرژی صورت می گیرد.

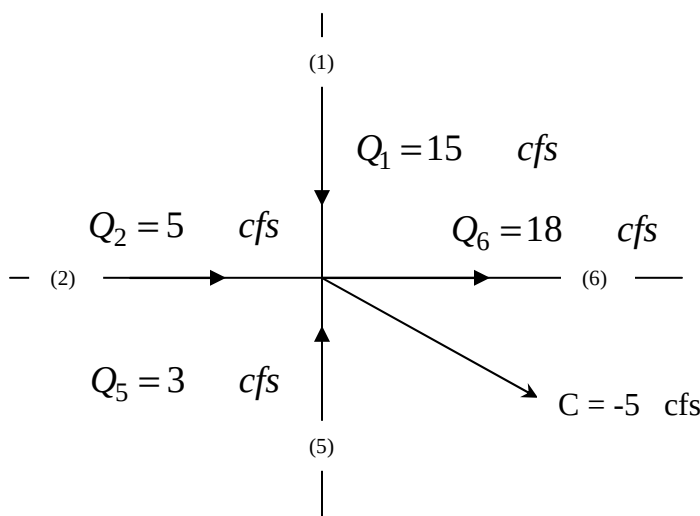
حالت ۱ - اگر دبی مجهول در نظر گرفته شود.

برای آنکه قانون پیوستگی (بقای جرم) برقرار باشد لازم است دبی جرمی (و دبی حجمی) وارد شده به هر گره، برابر دبی جرمی (و دبی حجمی) خارج شده از آن گره باشد. بنابراین در محل هر گره داریم:

$$(\sum Q)_{out} - (\sum Q)_{in} = C \quad (۱۲)$$

که C عبارت است از دبی مصرفی در هر گره (با علامت منفی).

مثال: در گره چهار لوله ای زیر بالانس جرمی را بنویسید.



شکل (۴)

حل:

$$Q_6 - Q_1 - Q_2 - Q_5 = -5$$

$$18 - 15 - 5 - 3 = -5$$

اگر شبکه ای شامل J گره (یا محل اتصال) باشد و تمام جریانهای مصرفی نیز مشخص شده باشند در اینصورت تعداد $(J - 1)$ معادله پیوستگی مستقل را به فرم رابطه (۱۲) می توان نوشت. آخرین معادله پیوستگی، یعنی معادله J ام، معادله مستقلی نخواهد بود زیرا این معادله را می توان با ترکیب $J-1$ معادله قبلی به دست آورد. لازم به یادآوری است که هر یک از معادله های پیوستگی خطی هستند یعنی Q فقط با توان یکم ظاهر می شود.

علاوه بر صادق بودن معادله پیوستگی در هر گره، باید معادله انرژی نیز برقرار باشد. این معادله به این ترتیب بدست می آید که **مجموع افت هد در هر لوپ باید صفر باشد**. یعنی اگر در پیرامون یک لوپ (حلقه) بسته دور بزنیم و افت هد را در هر لوله حساب کنیم پس از آنکه به همان نقطه آغاز رسیدیم مجموع افت هدها (با توجه به علامت آنها) باید صفر باشد. در هنگام دور زدن یک لوپ، اگر جهت جریان آب در لوله هم جهت ما باشد افت هد مثبت، و اگر خلاف جهت ما باشد افت هد منفی خواهد بود. بنابراین در مورد هر لوپ مستقل^۱ (که به لوپ طبیعی نیز معروف است) داریم:

$$\sum h_{f(l)} = 0 \quad (13)$$

که l نشان دهنده تعداد لوله در هر حلقه است.

با استفاده از فرمول توانی $h_f = KQ^n$ می توان معادلات (۱۳) را بر حسب دبی نیز نوشت:

$$\sum K_l Q_l^{n_l} = 0 \quad (14)$$

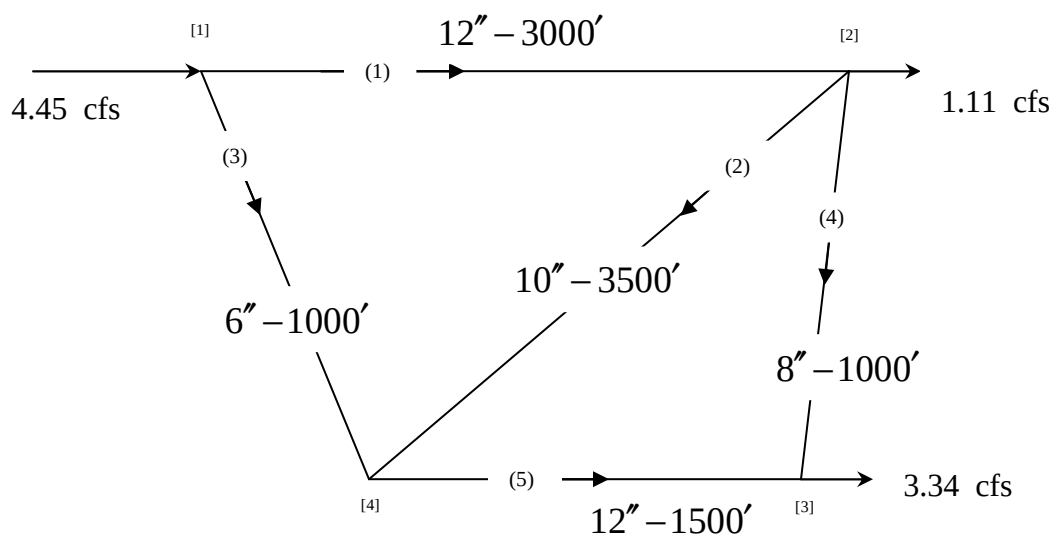
هر شبکه لوله کشی که دارای J گره و L لوپ مستقل و N لوله باشد رابطه زیر در مورد آن صادق است:

$$N = (J - 1) + L \quad (15)$$

با توجه به اینکه در هر لوله ها مجهول است N مجهول وجود دارد. تعداد معادله های مستقل نیز برابر N می باشد. از این تعداد، $(J - 1)$ معادله پیوستگی خطی هستند اما L معادله انرژی (یا افت هد) غیر خطی می باشند. چون شبکه های بزرگ شامل صدها لوله و اتصالات هستند باید از روشهای کامپیوتری برای حل بهره جست تا بتوان این دستگاه معادلات را حل نمود.

¹ Non-overlapping Loop

تمرین : معادلات لازم را برای شبکه زیر نوشته ، دبی ها را بدست آورید.



شکل (۵)

لوله ها را چدنی و زبری آنها را $e = 0.0102 \text{ in}$ در نظر بگیرید.

حالت ۲ - اگر فشار در محل گره ها مجهول در نظر گرفته شود.

اگر از همان ابتدا به جای دبی ، فشار در محل گره ها مجهول در نظر گرفته شود آنگاه دستگاه معادله هایی که باید حل شود از لحاظ تعداد کاهش می یابد. اما این کاهش تعداد معادلات به بهای این تمام می شود که برخی از معادلات از حالت خطی بودن خارج می شوند.

برای دستیابی به دستگاه معادله هایی که در آنها مقدار فشار در هر یک از گره های شبکه مجهول است می توان مانند قبل تعداد $(J - 1)$ معادله پیوستگی مستقل را نوشت. پس از آن رابطه بین دبی و افت هد در معادلات پیوستگی جایگزین می گردد. در هنگام نوشتن این معادلات بهتر است از اندیسهای دوگانه استفاده شود. این اندیسها مربوط به گره هایی هستند که در دو انتهای لوله قرار دارند. اندیس اول نشان دهنده شماره گرهی است که جریان از آن سمت می آید و اندیس دوم نشان دهنده گرهی است که جریان به آن سمت می رود. از فرمول توانی نسبت به Q می توان نتیجه گرفت که :

$$Q_{ij} = \left(\frac{h_{Lij}}{K_{ij}} \right)^{\frac{1}{n_{ij}}} = \left(\frac{H_i - H_j}{K_{ij}} \right)^{\frac{1}{n_{ij}}} \quad (16)$$

اگر این رابطه در معادله پیوستگی (۱۲) جایگزین گردد معادله زیر حاصل می شود :

$$\left[\sum \left(\frac{H_i - H_j}{K_{ij}} \right)^{\frac{1}{n_{ij}}} \right]_{out} - \left[\sum \left(\frac{H_i - H_j}{K_{ij}} \right)^{\frac{1}{n_{ij}}} \right]_{in} = C \quad (17)$$

با نوشتن معادله ای به فرم (۱۷) در محل هر یک از (J - 1) گره ، دستگاهی متشکل از (J - 1) معادله غیر خطی به دست می آید.

حالت ۳ - اگر دبی های اصلاحی در پیرامون حلقه های شبکه مجهول در نظر گرفته شوند.

تعداد گره های شبکه منهای ۱ (J - 1) کمتر از تعداد لوله های موجود در آن شبکه است. تفاضل این دو، برابر تعداد لوپهای شبکه است (L). بنابراین تعداد معادلات H معمولا کمتر از تعداد دستگاه معادلات Q می باشد.

در دستگاه معادلاتی که برای حل شبکه نوشته می شود مقداری بعنوان دبی اصلاحی برای هر یک از لوپ ها بعنوان مجهول در نظر گرفته می شود. به این معادلات ، معادله های ΔQ گفته می شود. چون در یک شبکه تعداد L لوپ اصلی وجود دارد ازاینرو دستگاه معادلات ΔQ شامل L معادله است که همگی آنها از نوع غیر خطی می باشند.

در نظر گرفتن دبی اولیه برای هر یک از لوله ها ، به گونه ای که در (J - 1) معادله پیوستگی گره صادق باشند (و در آخرین معادله پیوستگی گره یعنی معادله J ام نیز صدق نمایند) کار مشکلی نیست. البته تخمین اولیه ای که برای دبی هر لوله در نظر گرفته می شود معمولا بطور همزمان در L معادله افت هد صدق نخواهد کرد. بنابراین مقادیر آنها باید پیش از آنکه بتوان آنها را بعنوان دبی لوله ها در نظر گرفت اصلاح شوند. به این منظور به دبی فرض شده قبلی در هر یک از لوله های تشکیل دهنده لوپ های شبکه ، یک دبی اصلاحی افزوده می شود (با توجه به علامت) بدون آنکه معادله پیوستگی در محل هر گره نقض شود. به این ترتیب می توان تعداد L معادله انرژی (یا افت هد) را برای L لوپ شبکه نوشت که در آنها مقدار دبی اولیه به اضافه ی دبی اصلاحی لوپ ΔQ ، بعنوان دبی واقعی در معادله های افت هد بکار برده می شود. پس از پیدا کردن مقدار مناسب دبی اصلاحی لوپ و صادق بودن معادلات افت هد ، باید تعداد J - 1 معادله پیوستگی نیز همچون گذشته برقرار باشد. مقدار دبی اصلاحی ΔQ_i را می توان در لوپهای اصلی در جهت عقربه های ساعت (یا عکس آن) مثبت در نظر گرفت. اما علامت قراردادی باید در مورد هر لوپ بخصوص ثابت باقی بماند و بهتر است در مورد تمام لوپهای شبکه در همان جهت در نظر گرفته شود.

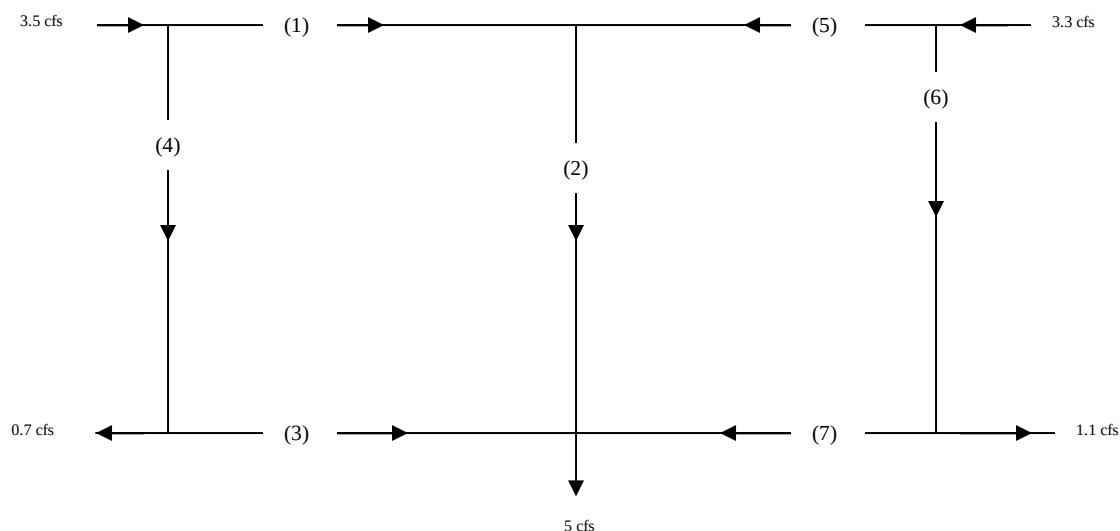
برای نوشتن فرم ریاضی دستگاه معادلات ΔQ ، مقدار دبی فرض شده اولیه که بتواند در معادلات پیوستگی گره ها صادق باشد با عدد صفر و یک اندیس i که نشان دهنده شماره لوله می باشد مشخص

می گردد. بنابراین $Q_{0i}, i=1,2,\dots,N$ نمایشگر مقدار دبی فرضی در N لوله است. دبی اصلاحی با علامت ΔQ_l نشان داده می شود که $\Delta Q_l, l=1,2,\dots,L$ عبارت است از مقادیر اصلاحی دبی پیرامون L لوپ شبکه که باید به Q_0 اضافه شود تا مقدار واقعی دبی هر لوله به دست آید. با بکار بردن این نوتاسیون در L معادله انرژی برای لوپ های اصلی داریم :

$$\begin{aligned} \sum K_i (Q_{0i} + \Delta \bar{Q}_1)^{n_i} &= 0 && \text{افت هد در پیرامون لوپ شماره ۱} \\ \sum K_i (Q_{0i} + \Delta \bar{Q}_2)^{n_i} &= 0 && \text{افت هد در پیرامون لوپ شماره ۲} \\ \dots &&& \\ \dots &&& \\ \sum K_i (Q_{0i} + \Delta \bar{Q}_L)^{n_i} &= 0 && \text{افت هد در پیرامون لوپ شماره } L \end{aligned} \quad (۱۸)$$

که $\Delta \bar{Q}_l$ همواره شامل ΔQ_l و هر مقدار ΔQ 's دیگری است که از لوله ای با علامت مشخص می گذرد.

مثال : برای شبکه زیر که در آن مقادیر K و n در فرمول توانی داده شده است دبی هر لوله و مقدار افت هد آنرا بدست آورید.



شکل (۶)

شماره لوله	K	n
1	1.793	1.929
2	0.497	1.938
3	4.108	1.921
4	2.717	1.945
5	0.755	1.917
6	2.722	1.942
7	1.628	1.878

حل : مقدار دبی های اصلاحی ΔQ_1 و ΔQ_2 در جهت عقربه های ساعت مثبت فرض می شود. نخستین گام اینست که برای هر لوله ، یک دبی فرضی در نظر بگیریم به نحوی که در معادلات پیوستگی گره ها صدق کند. مقادیر فرضی بر اساس جهتی که روی شکل با علامت نشان داده شده است عبارتند از :

$$\begin{aligned} Q_{01} &= 1.75 & Q_{02} &= 3.55 & Q_{03} &= 1.05 \\ Q_{04} &= 1.75 & Q_{05} &= 1.8 & Q_{06} &= 1.5 \\ Q_{07} &= 0.4 \end{aligned}$$

معادلات افت هد در پیرامون این دو لوپ چنین است :

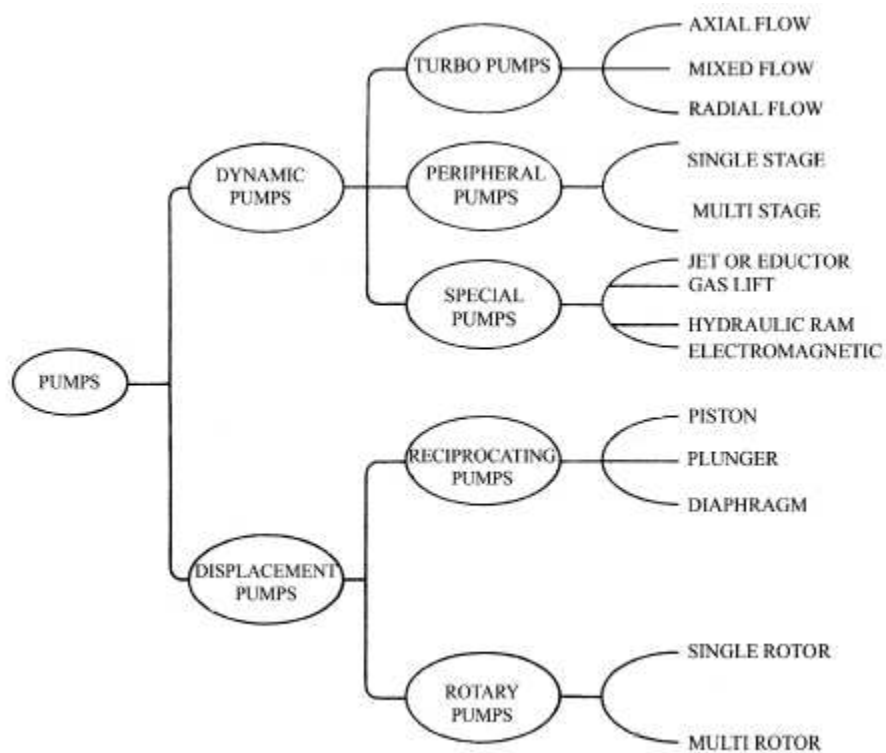
$$\begin{aligned} F_1 &= 1.793(1.75 + \Delta Q_1)^{1.929} + 0.497(3.55 + \Delta Q_1 - \Delta Q_2)^{1.938} \\ &- 4.108(1.05 - \Delta Q_1)^{1.921} - 2.717(1.75 - \Delta Q_1)^{1.945} = 0 \\ F_2 &= -0.755(1.8 - \Delta Q_2)^{1.917} + 2.722(1.5 + \Delta Q_2)^{1.942} \\ &+ 1.628(0.4 + \Delta Q_2)^{1.878} - 0.497(3.55 - \Delta Q_2 + \Delta Q_1)^{1.938} = 0 \end{aligned}$$

با حل این دو معادله به ازای مقادیر مجهول ΔQ_1 و ΔQ_2 می توان مقدار دبی در هر یک از لوله ها را به دست آورد. این عمل با افزودن دبیهای اصلاحی لوپ به دبیهای مفروض اولیه بسادگی بدست می آید. با داشتن دبی در هر لوله ، افت هد نیز حساب می شود. غیر خطی بودن معادلات در این سیستم حل آنرا با مشکل روبرو می کند.

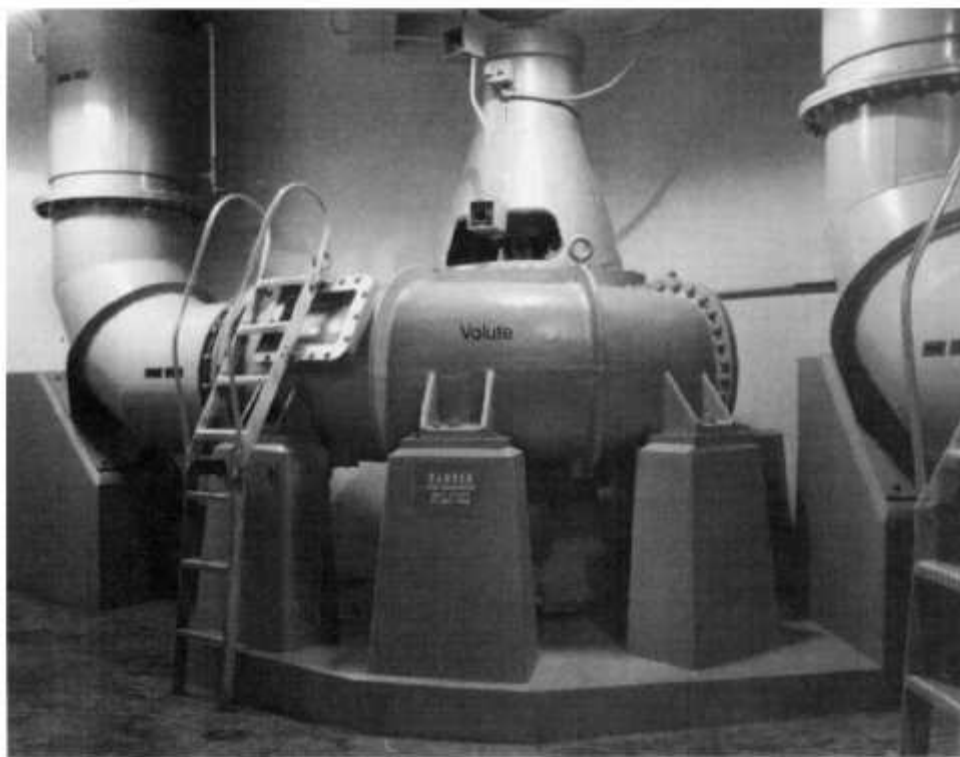
روش نیوتن - رافسون و روش هاردی - کراس برای حل دستگاه معادلات دبی اصلاحی و حل معادلات فشار گره ها مناسب هستند. برای حل معادلات Q ، روش تیوری خطی و روش نیوتن - رافسون پیشنهاد می شود.

PUMP

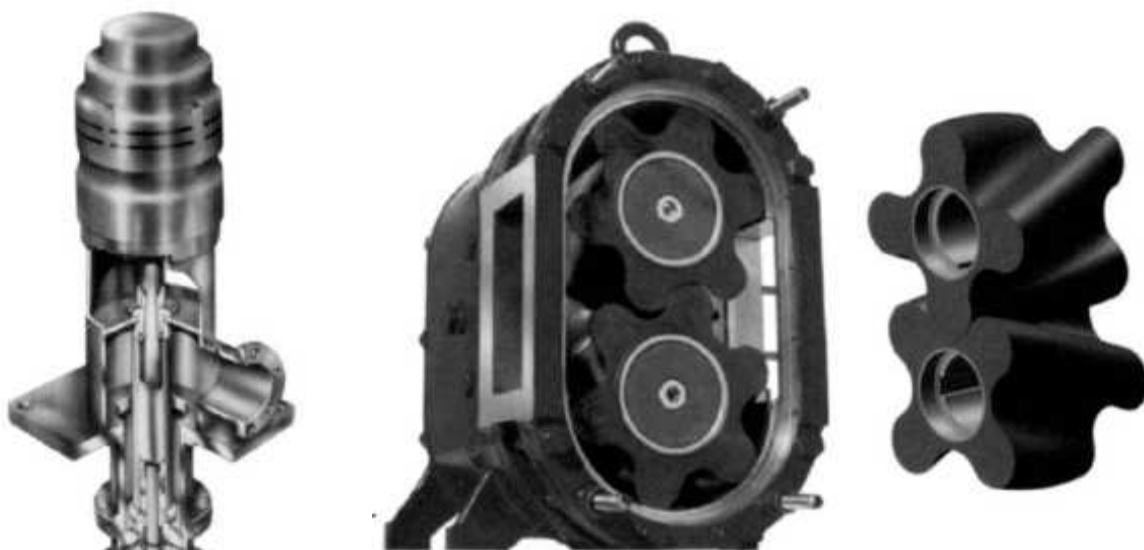
پمپ دستگاهی است که سیال (تراکم ناپذیر) را بوسیله افزایش فشار برای غلبه بر افتهای اصطکاکی، گرانش و فشار کاری سیستم، از ناحیه ای به ناحیه دیگر انتقال می دهد.



شکل (۷) دسته بندی پمپها



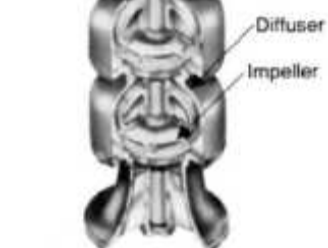
شکل (۸) یک پمپ سانتریفوژ فاضلاب



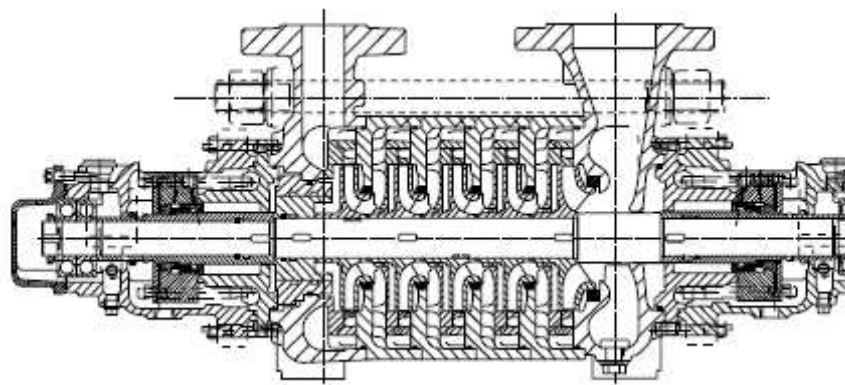
شکل (۹) پمپ دنده ای



شکل (۱۰) پمپ دنده ای با سه مارپیچ



شکل (۱۱) پمپ توربینی
عمودی



شکل (۱۲) پمپ سانتریفوژ چند طبقه



شکل (۱۴) پمپ شناور (لجن کش)



شکل (۱۳) پمپ سانتریفوژ یک طبقه

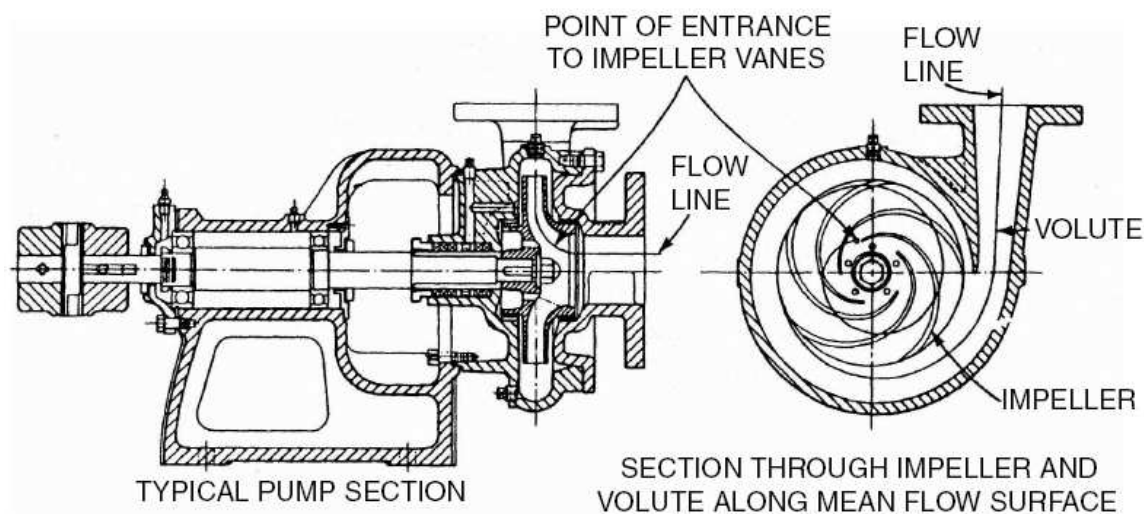


شکل (۱۶) پمپ توربینی عمودی

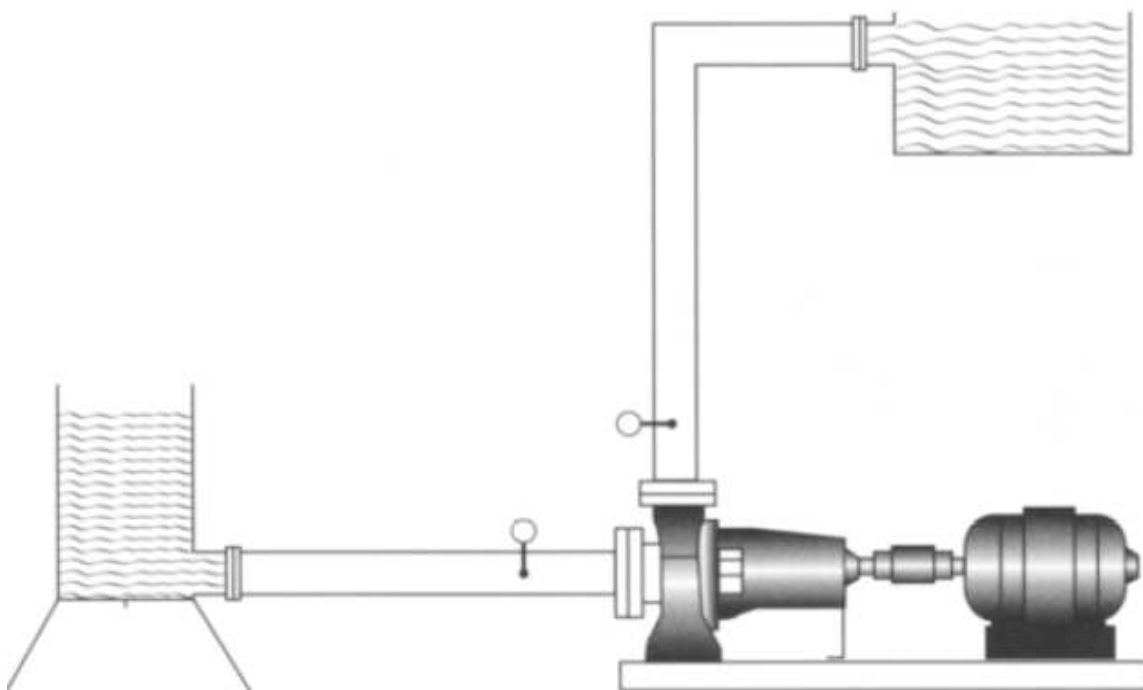


شکل (۱۵) پمپ توربینی عمودی با موتور شناور

تقریباً ۸۰ درصد پمپهای بکار رفته در صنعت از نوع سانتریفوژ می باشند. پروانه پمپ سانتریفوژ که در محفظه حلزونی^۱ قرار دارد ضمن چرخش، مایع را از ورودی پمپ مکش کرده وارد چشمی خود می کند و در حین گذر از روی تیغه ها^۲ به آن انرژی می دهد.



شکل (۱۷)

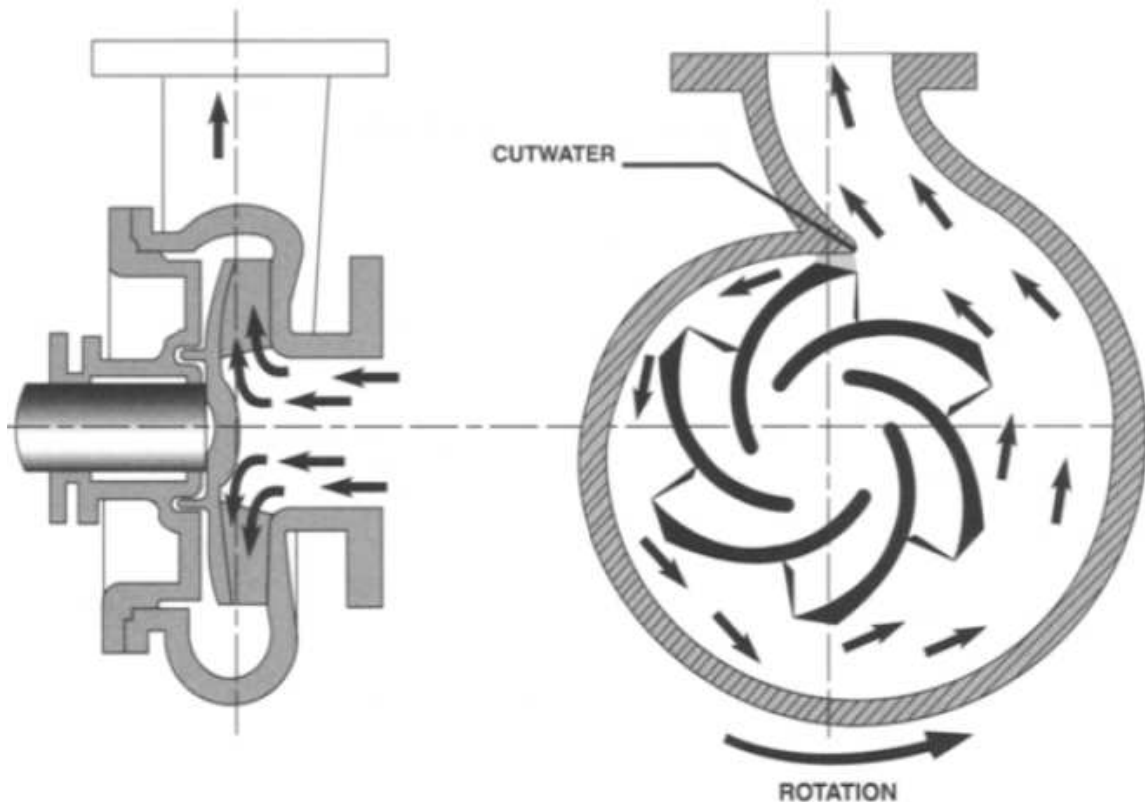


شکل (۱۸)

^۱ Volute casing

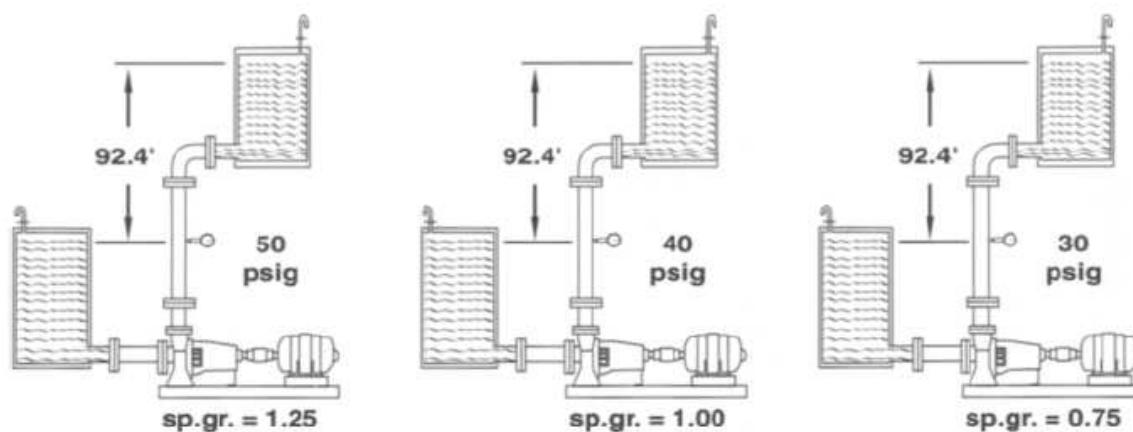
^۲ vane

انرژی سینتیک سیال در حین حرکت در امتداد حلزونی تبدیل به انرژی فشاری می شود.



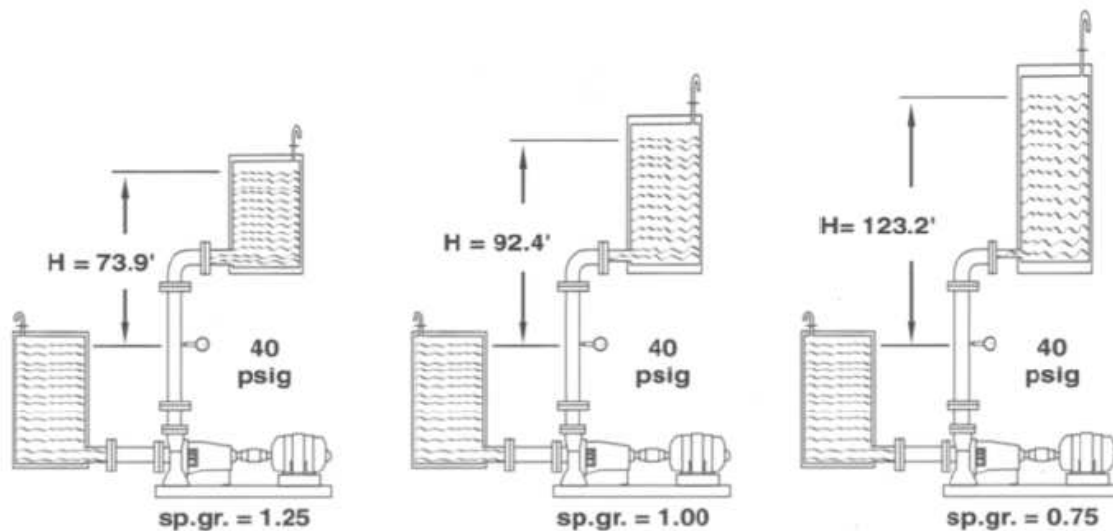
شکل (۱۹)

در شکل‌های زیر ، رابطه بین هد و فشار در یک پمپ سانتریفوژ که سیالهای متفاوتی را پمپاژ می کند نشان داده شده است.



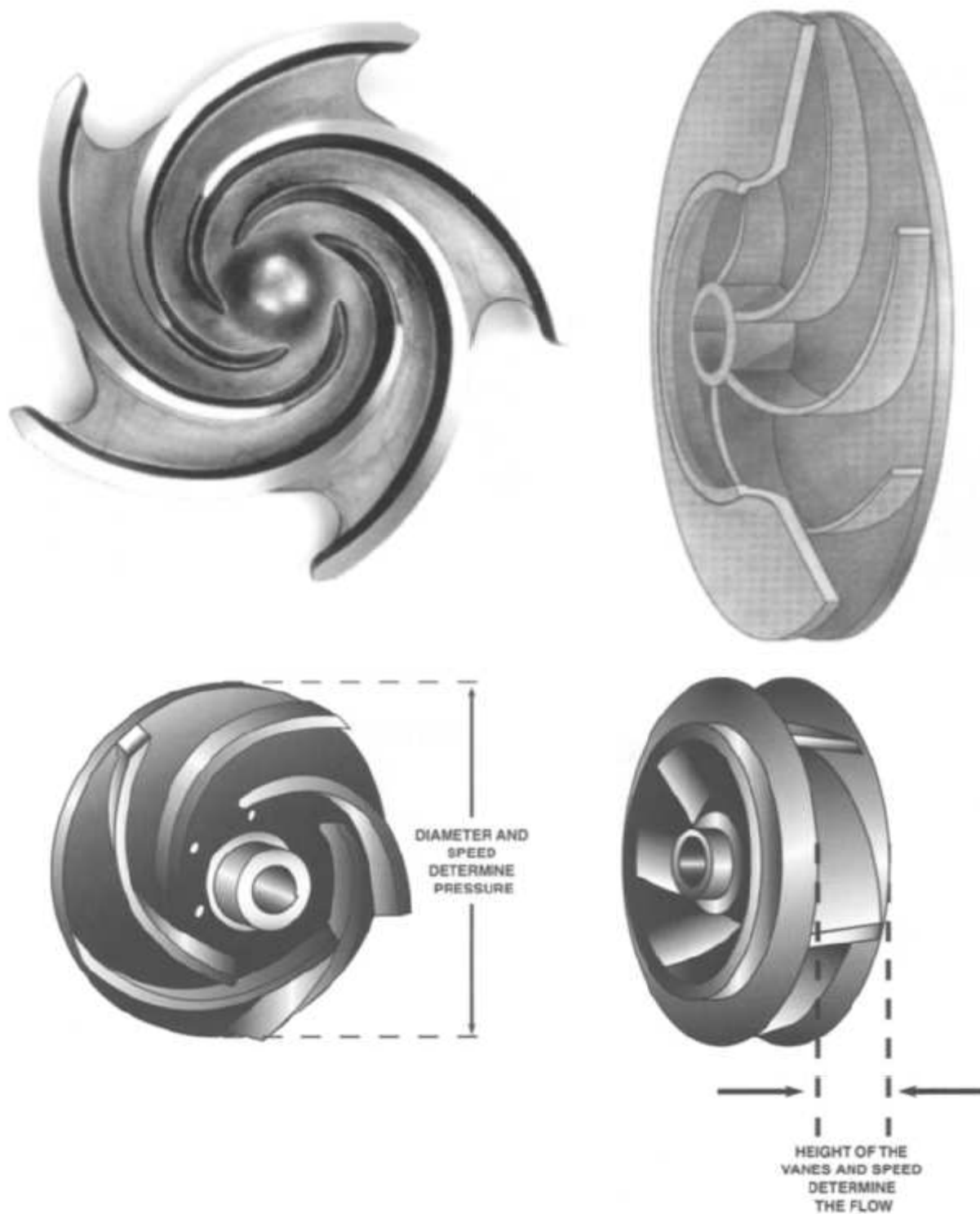
شکل (۲۰)

هر سه پمپ ، برای هد 92.4 ft طراحی شده اند اما فشار خروجی به نسبت وزن مخصوص سیالها متفاوت می باشد.

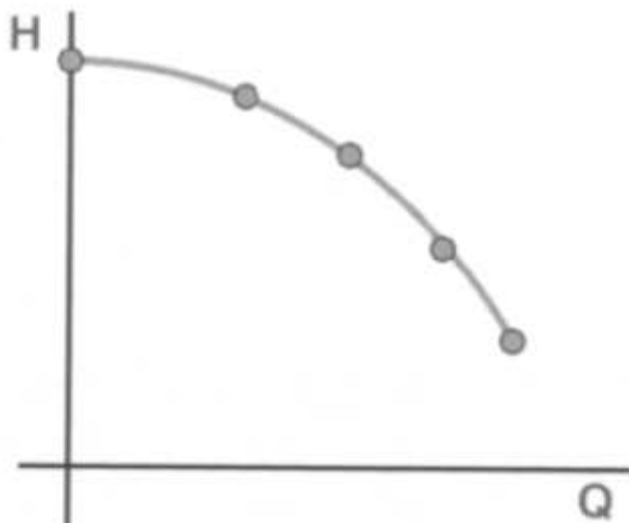


شکل (۲۱)

اما در این وضعیت ، فشار خروجی پمپها یکسان است ولی هد تولیدی آنها رابطه عکس با وزن مخصوص سیال دارد.

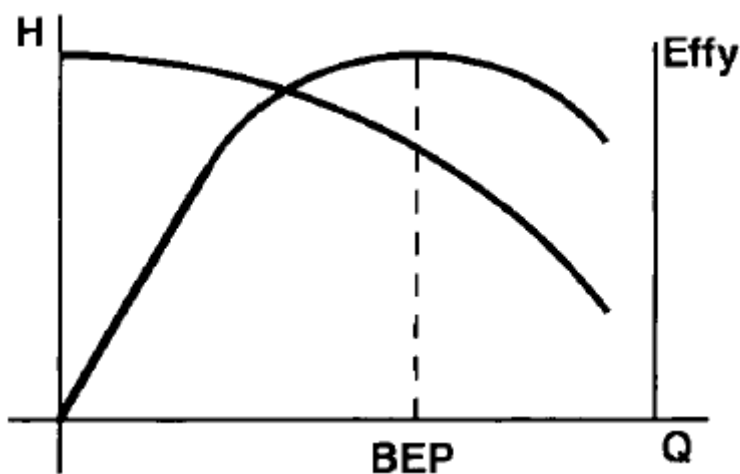


شکل (۲۲) دو نمونه پروانه باز و بسته



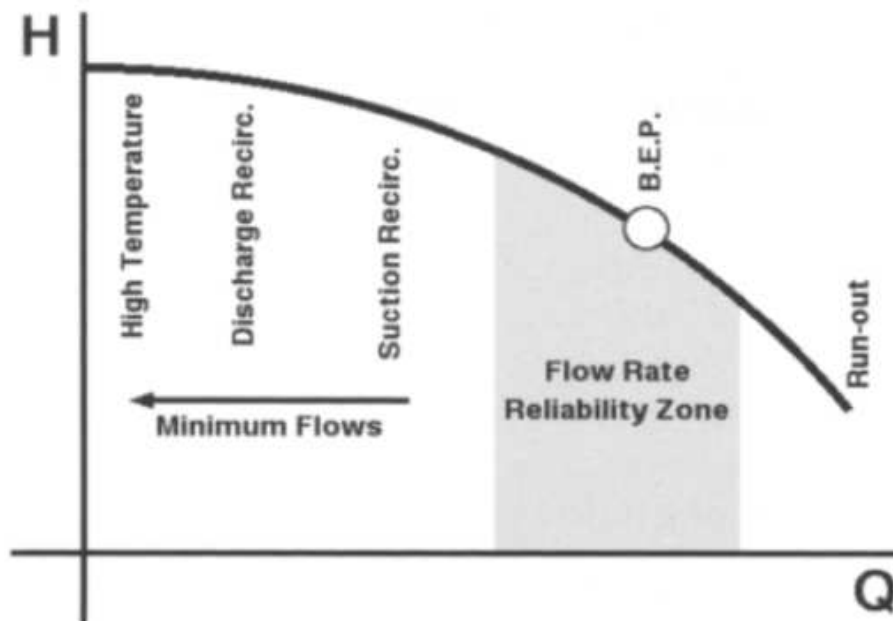
شکل (۲۳)

منحنی مشخصه پمپ : رابطه بین دبی و هد
دینامیکی کل را منحنی مشخصه پمپ می
نامند. در مورد یک پمپ سانتریفوژ با
افزایش هد، دبی کم می شود و این رابطه
تقریباً سهموی است.



شکل (۲۴)

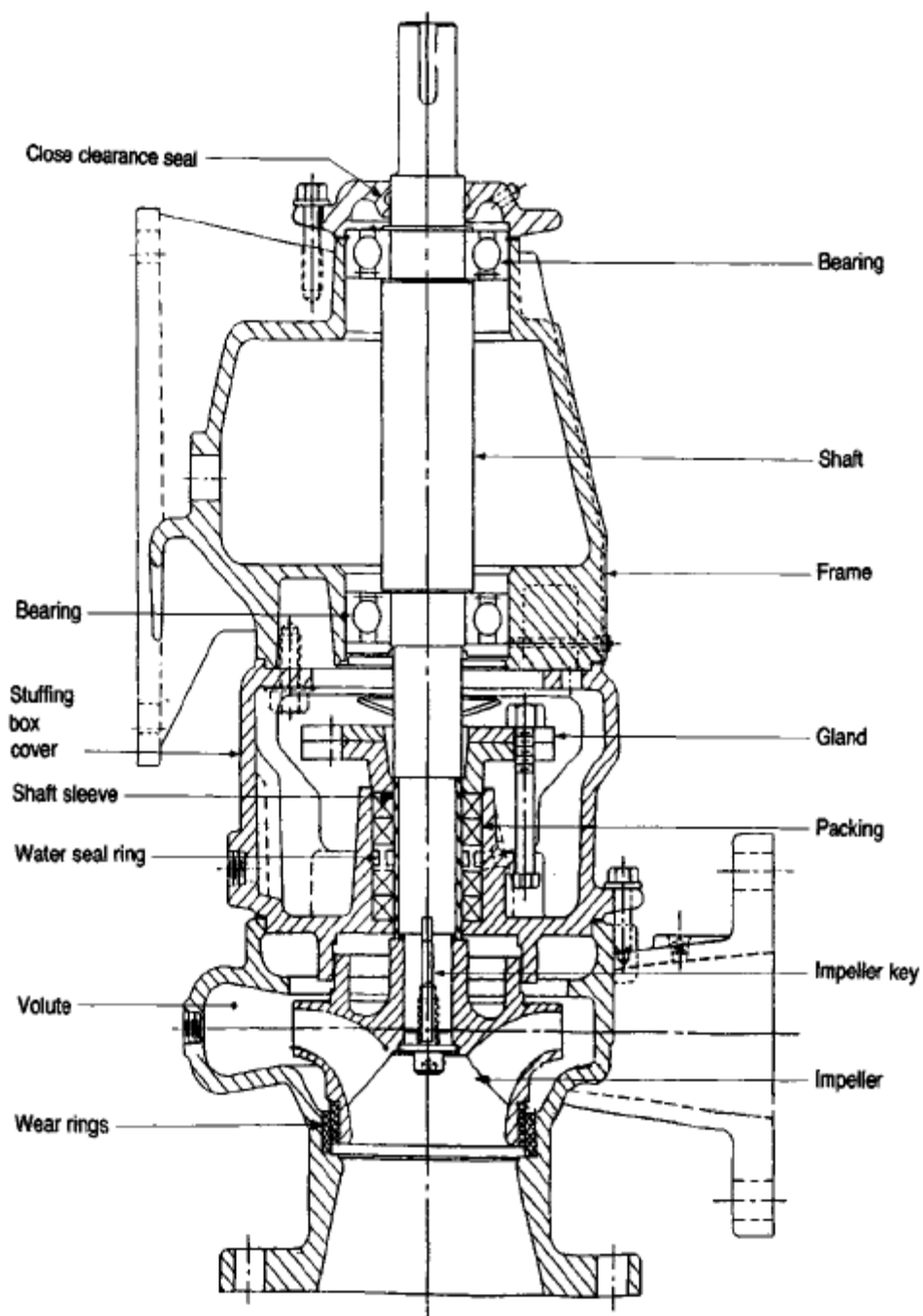
نقطه بهترین راندمان : برای اطمینان از
عملکرد بهینه پمپ ، باید نقطه کاری
پمپ را هر چه نزدیکتر به BEP
انتخاب کرد. در عمل سعی می شود
نقطه کاری پمپ در محدوده 70%-
120% BEP باشد که بستگی به
شرایط کاری سیستم دارد. بیرون از این
محدوده سبب وارد آمدن فشار اضافی
به پمپ و آسیب دیدن سیلها و
بلبرینگها می شود.



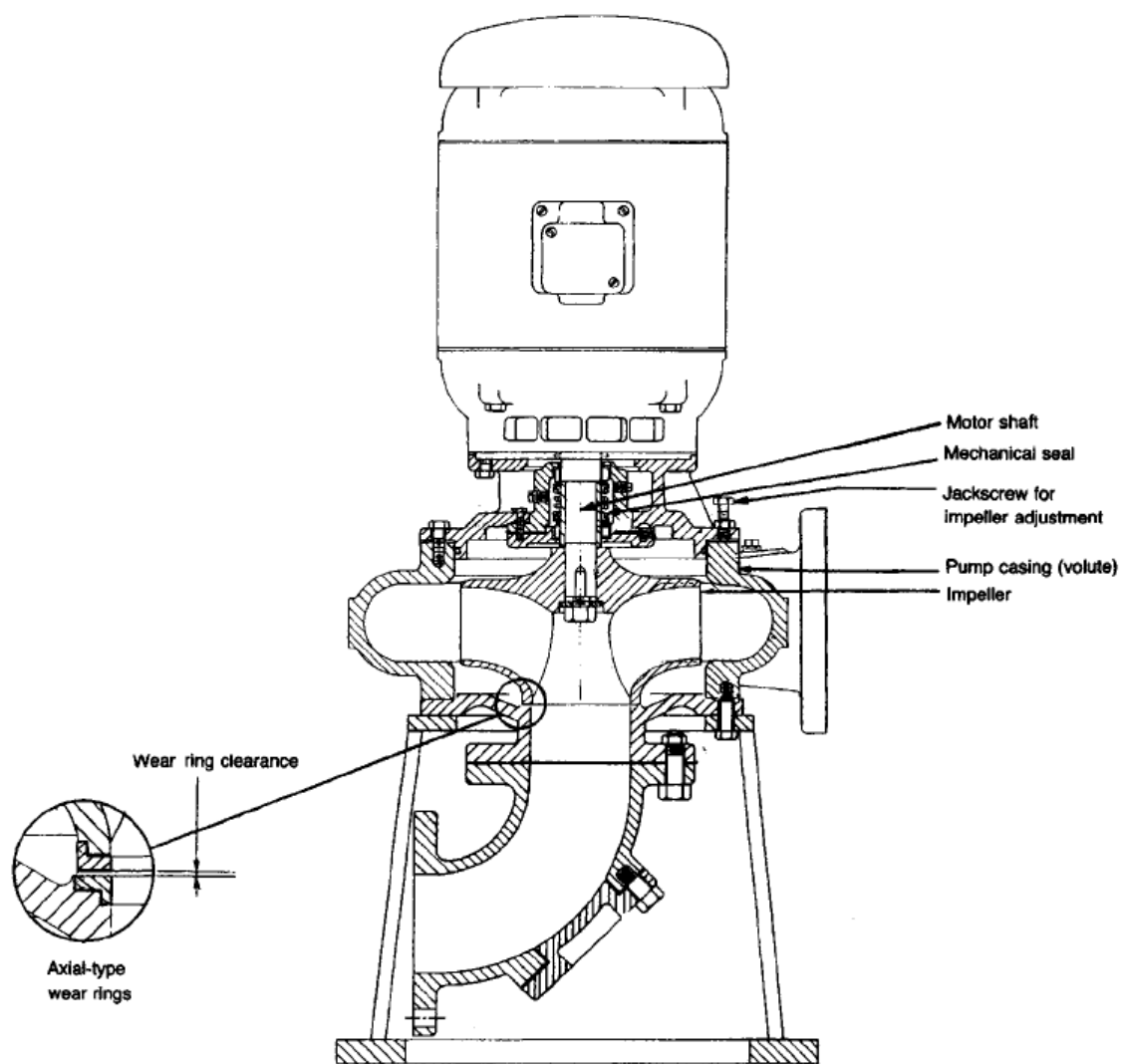
شکل (۲۵)

پمپ سانتریفوژ در دبیهای زیاد (run-out) بدلیل کاویتاسیون، زود فرسوده شده، و عملکرد مطمئنی نخواهد داشت. ضمن اینکه باعث داغ شدن موتور می شود.

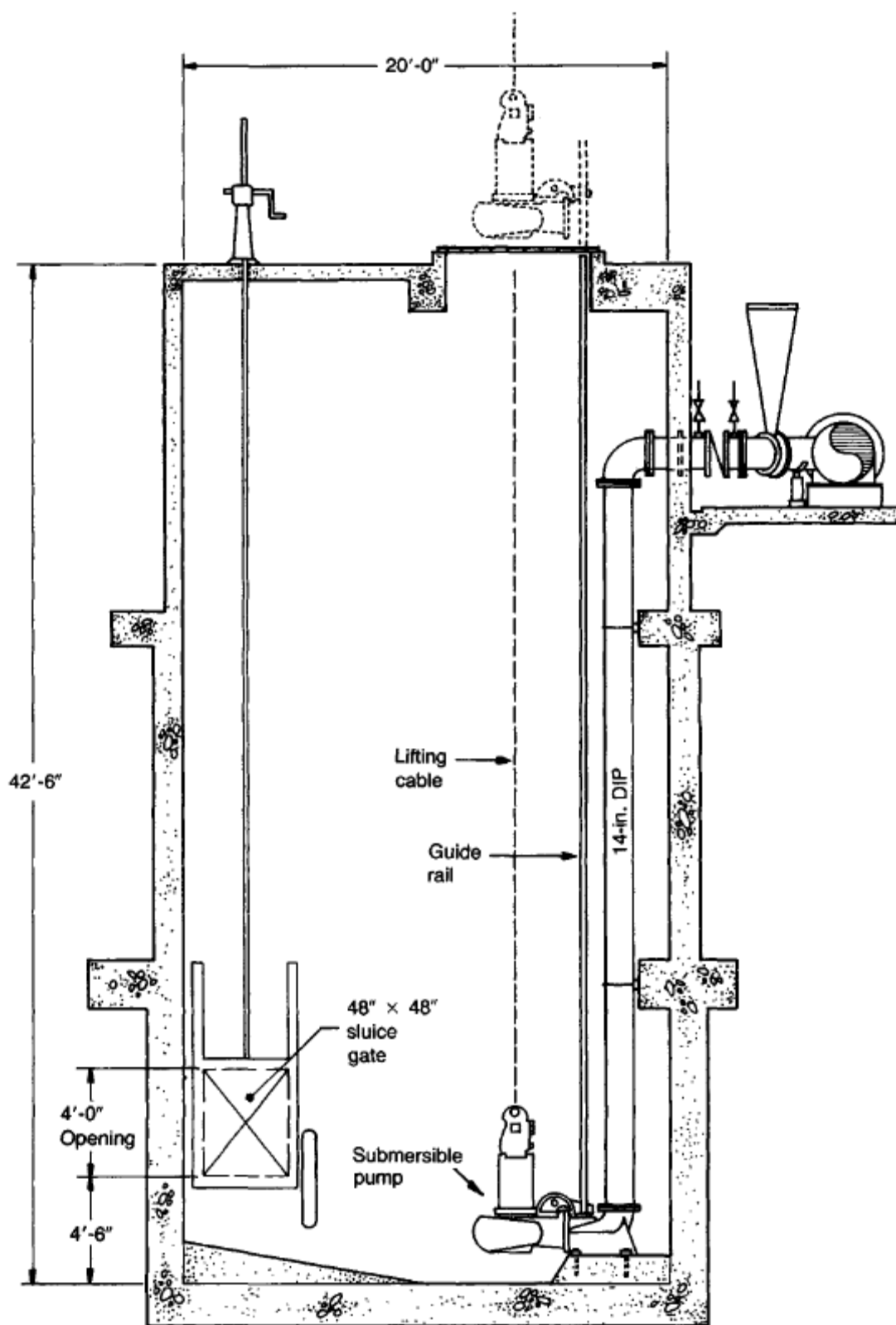
در دبیهای خیلی کم هم دمای سیال بالا می رود.



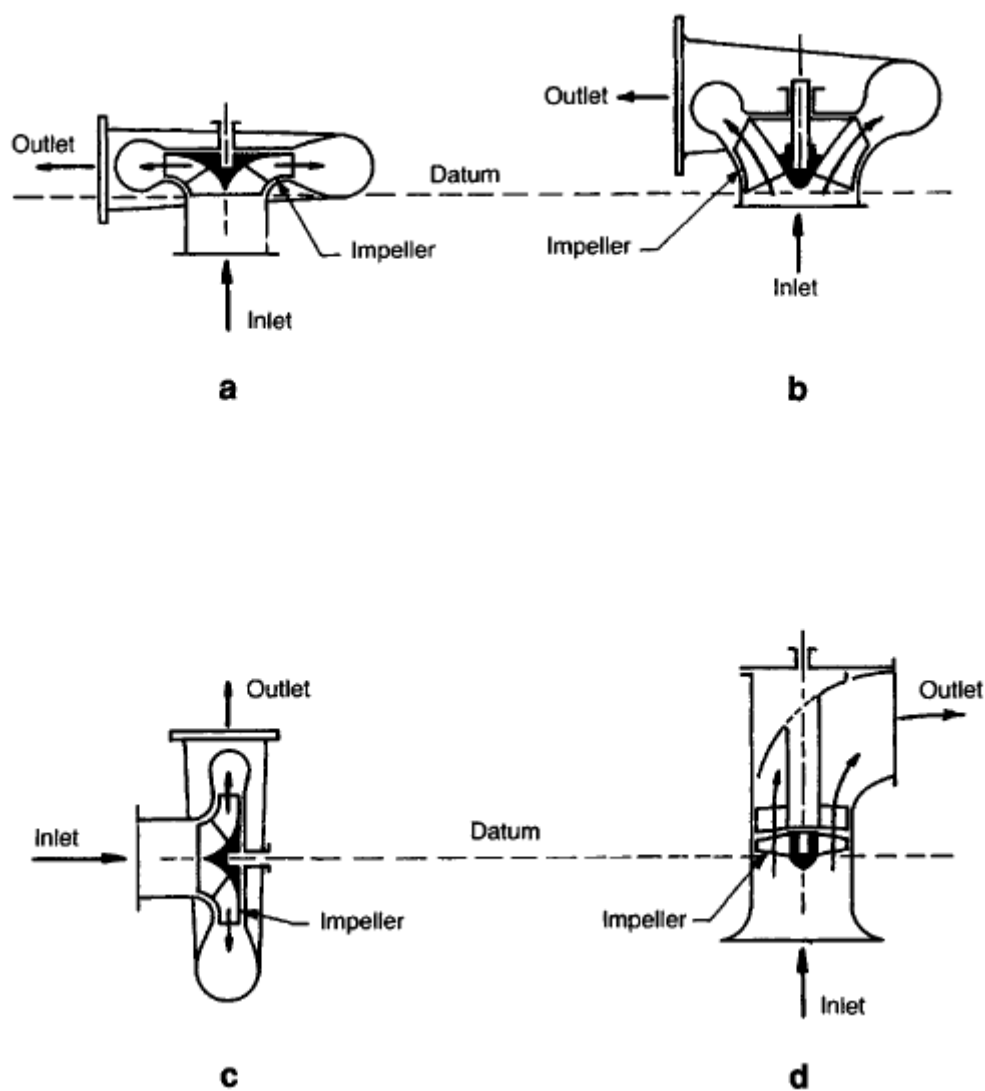
شکل (۲۶) قطعات یک پمپ سانتریفوژ عمودی



شکل (۲۷)

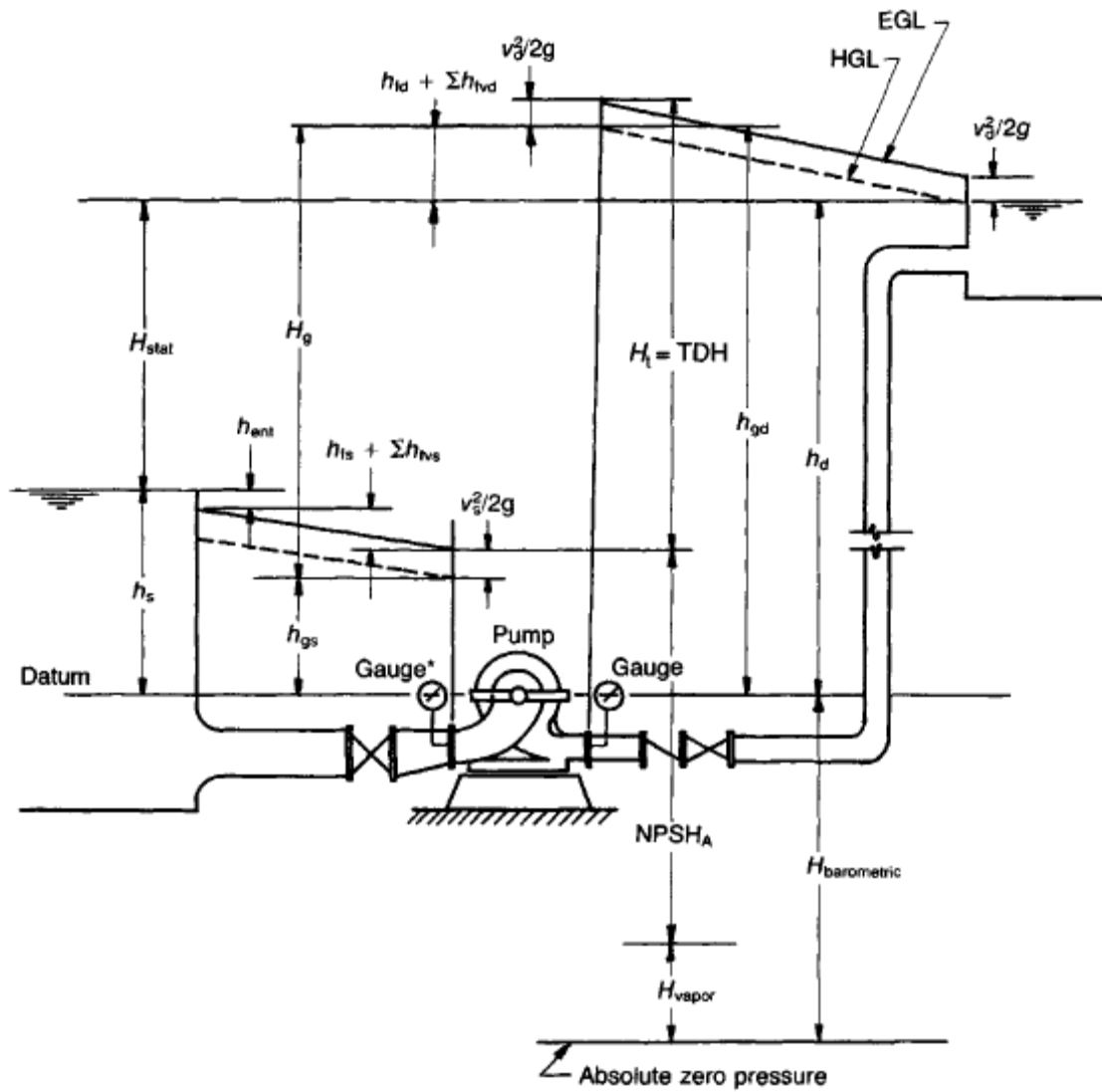


شکل (۲۸) یک پمپ شناور (که با زنجیر بالا کشیده می شود)

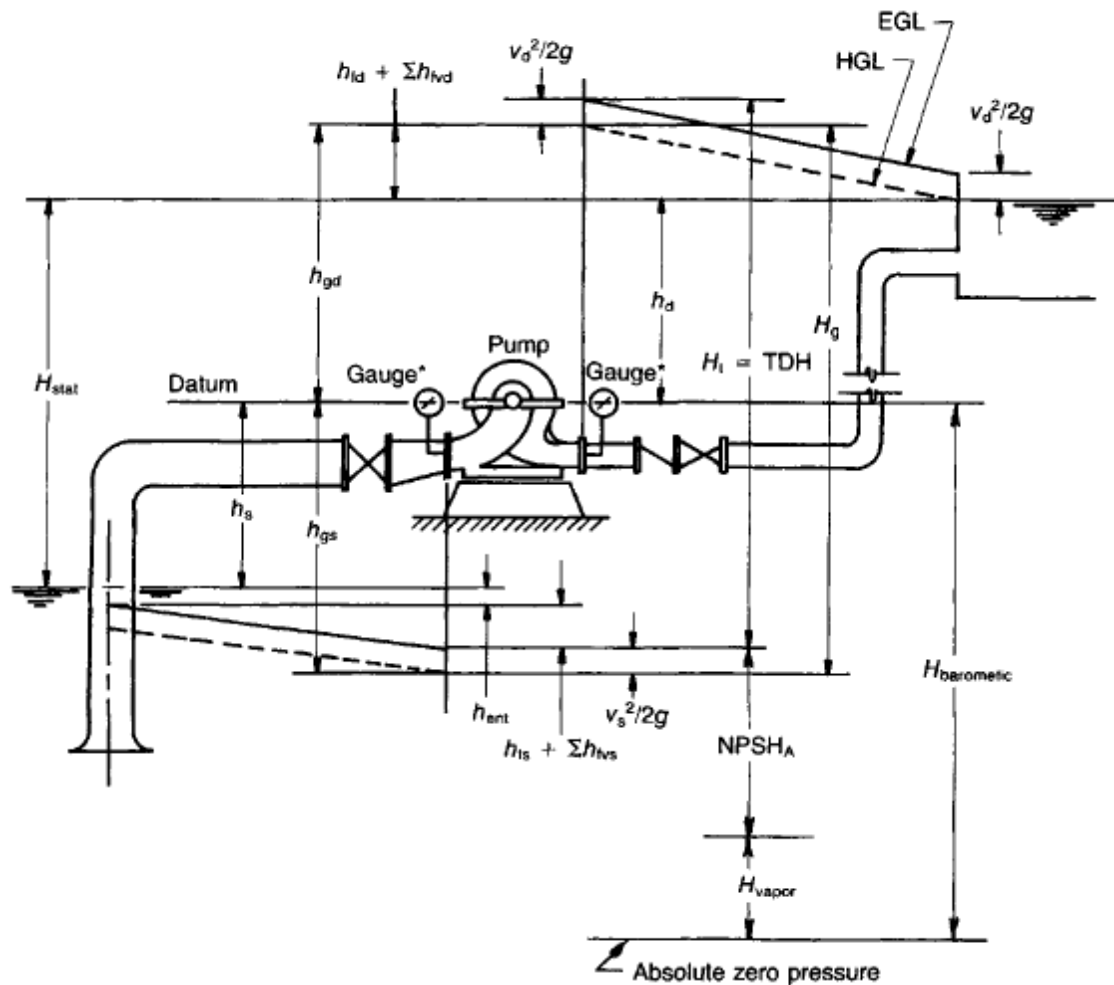


شکل (۲۹) مسیر جریان در چند نوع پمپ سانتریفوژ :

(a) جریان شعاعی - عمودی (b) جریان مختلط (c) جریان شعاعی - افقی (d) جریان محوری



شکل (۳۰) نامگذاری پارامترها برای یک پمپ با هد مکش مثبت



شکل (۳۱) نامگذاری پارامترها برای یک پمپ با هد مکش منفی

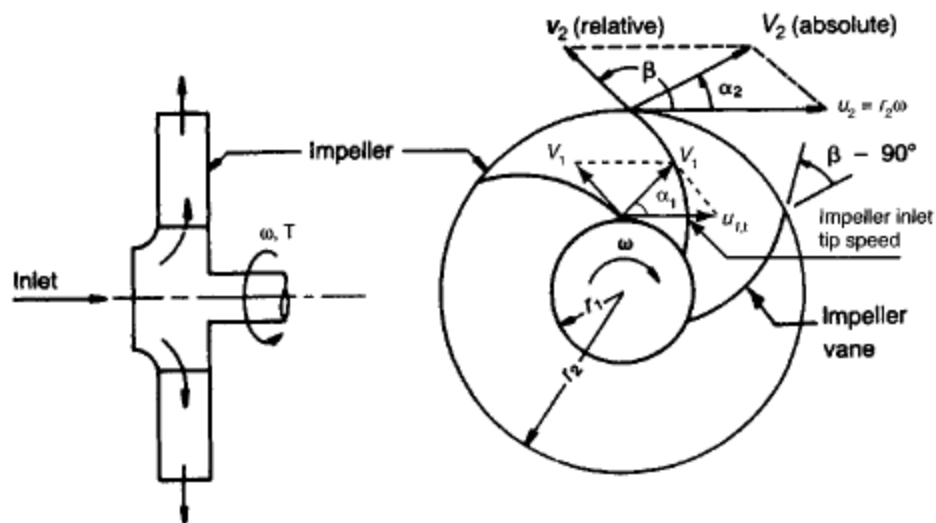
هد دینامیکی کلی (Total Dynamic Head): هدی است که پمپ باید آنرا تامین کند. این هد عبارت است از مجموع: هد استاتیک مکش و تخلیه (با توجه به علامت آنها) + افت هد اصطکاکی + هد سرعتی + افت هد جزیبی.

$$H_t = h_{gd} - h_{gs} + \frac{v_d^2}{2g} - \frac{v_s^2}{2g}$$

$$h_{gd} = h_d + h_{fd} + \Sigma h_{fvd}$$

$$h_{gs} = h_s - h_{ent} - h_{fs} - \Sigma h_{fvs} - \frac{v_s^2}{2g}$$

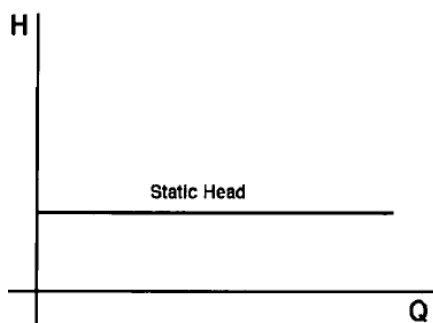
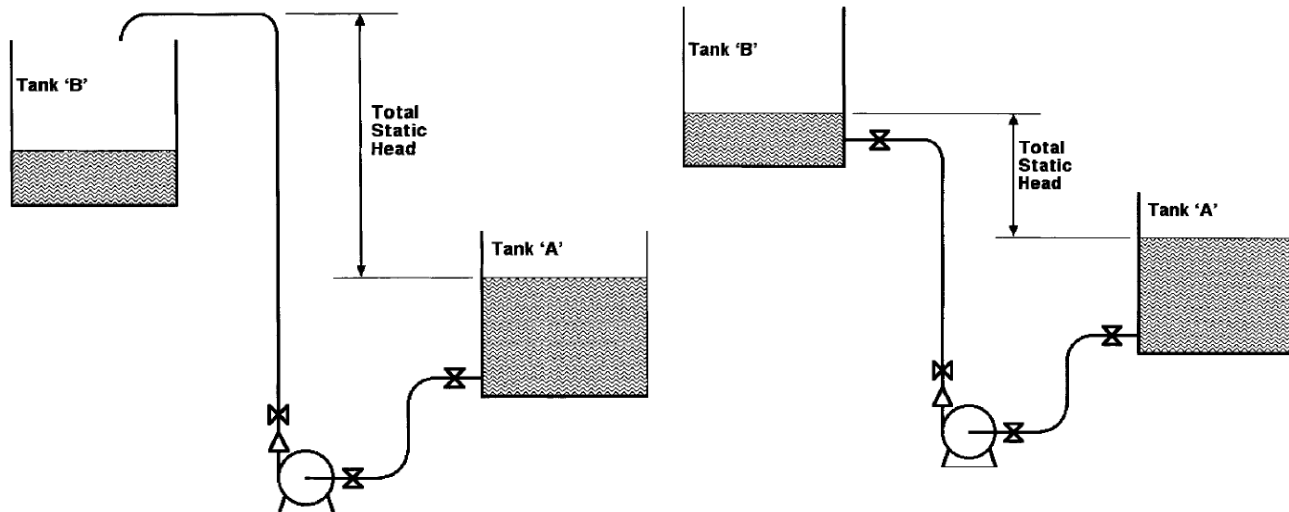
$$H_t = H_{stat} + h_{ent} + h_{fs} + h_{fd} + \Sigma h_{fvs} + \Sigma h_{fvd} + \frac{v_d^2}{2g}$$



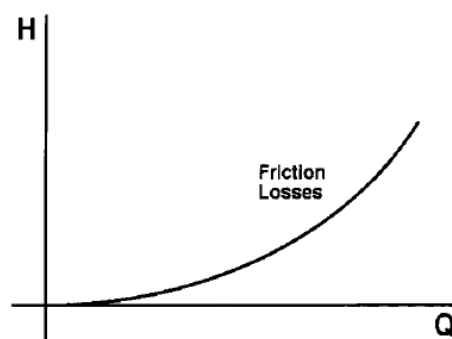
شکل (۳۲) دیاگرامهای سرعت برای یک پروانه پمپ جریان شعاعی

بررسی منحنیهای سیستم

هد استاتیکی را در دو وضعیت تقریباً مشابه زیر ملاحظه کنید :



منحنی هد استاتیکی

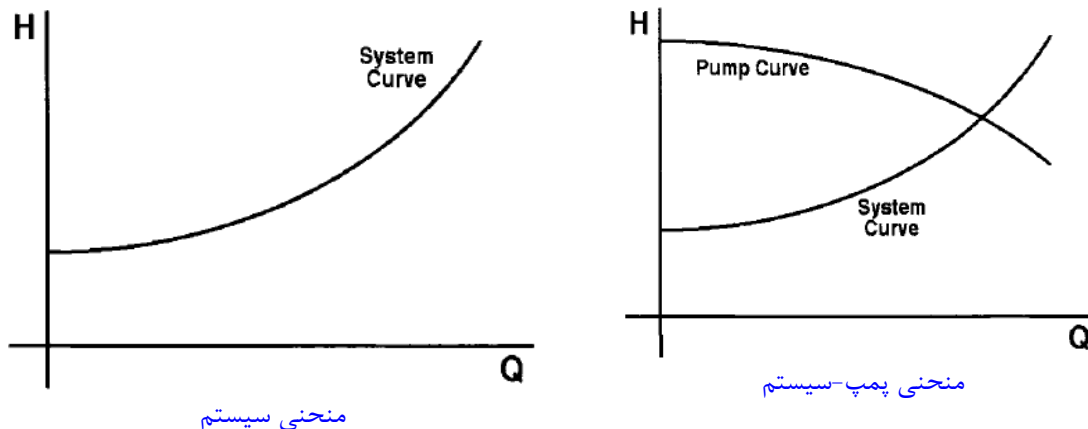


منحنی هد اصطکاکی

شکل (۳۳)

هد سرعتی = تفاوت $\frac{V^2}{2g}$ در ورود و خروج پمپ = هد لازم برای شتاب دادن جریان مایع در پمپ.

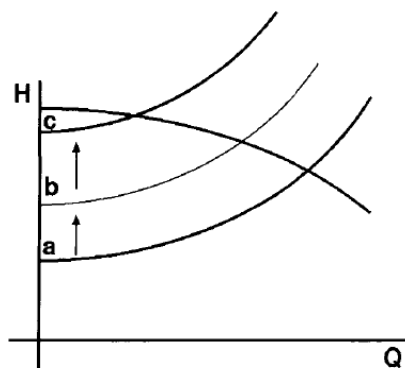
همانگونه که گفته شد از مجموع این هدها ، هد دینامیکی کل سیستم بدست می آید که بایستی توسط پمپ تامین شود.



شکل (۳۴)

مکان برخورد منحنی سیستم با منحنی پمپ را نقطه کار^۱ می نامند. واضح است که هرگونه تغییری در منحنی سیستم، سبب جابجا شدن نقطه کار پمپ می شود.

تغییر هد استاتیکی



شکل (۳۵)

در سیستمهای تحت فشار^۲ (مانند تغذیه بویلر نیروگاه) که پمپ، آب را از دی ایراتور تحت خلا گرفته و به بویلر تحت فشار می دهد تفاوت فشار ورودی - خروجی تابع دبی نیست بلکه تابع فشار دی ایراتور و بویلر می باشد. از این نظر، منحنی سیستم تحت فشار مانند تغییر هد استاتیکی تغییر خواهد کرد.

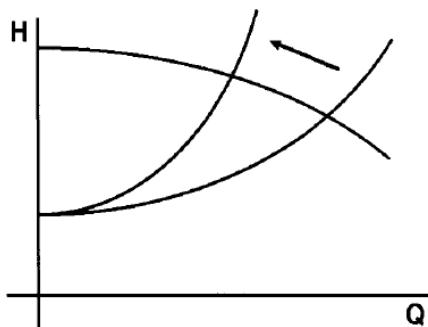
در سیستم حلقه ای بسته^۳، کل سیستم توسط پمپ تحت فشار است. در این سیستم مایع پس از پمپاژ وارد لوله ها و اتصالات مسیر شده و دوباره به پمپ بر می گردد. در چنین وضعیتی، هد استاتیکی سیستم معادل صفر است.

¹ Working point

² Pressurized system

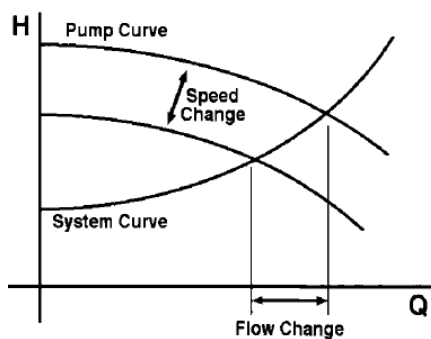
³ Closed loop system

تغییر هد اصطکاکی



شکل (۳۶)

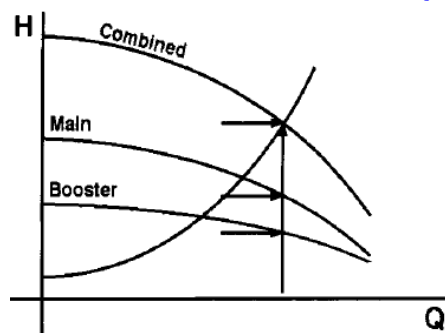
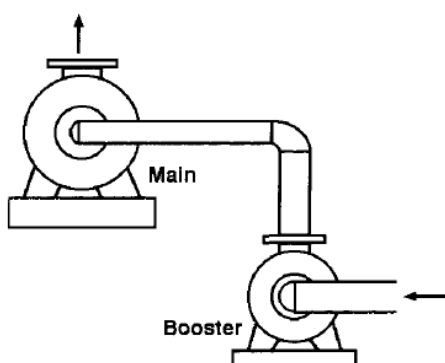
تغییر سرعت پمپ



شکل (۳۷)

کار سری و موازی پمپ ها

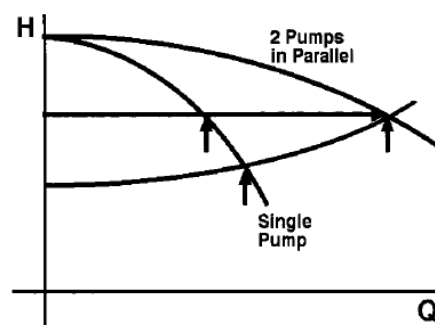
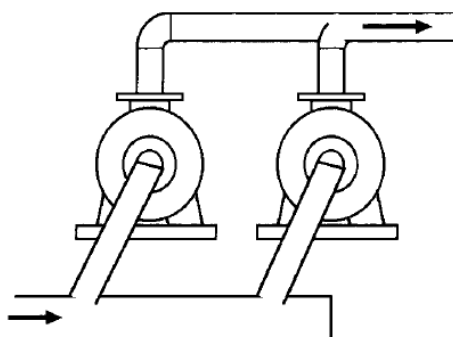
پمپهای سری:



شکل (۳۸)

یکی از کاربردهای این آرایش پمپها ، زمانی است که پمپ بزرگتر نمی تواند با NPSH در دسترس سیستم کار کند. در اینصورت یک پمپ کوچکتر در بالادست جریان نصب می شود تا فشار مکش پمپ بزرگتر را افزایش دهد. نکته مهم در این طرح آنست که پمپ کوچکتر باید توانایی ایجاد همان دبی پمپ بزرگتر را داشته باشد. هد کلی برابر مجموع هد هر یک از پمپها است.

پمپهای موازی:



شکل (۳۹)

دو یا چند پمپ، آب را از یک هدر^۱ دریافت کرده و به هدر مشترکی می دهند. بنابراین هدر پمپها و نیز هدر مجموع یکسان است فقط دبیها با هم جمع می شوند. بدلیل شیب منحنی سیستم، دبی هر پمپ زمانیکه بصورت موازی با پمپ مشابه کار می کند کمتر از زمانی است که به تنهایی کار کند.

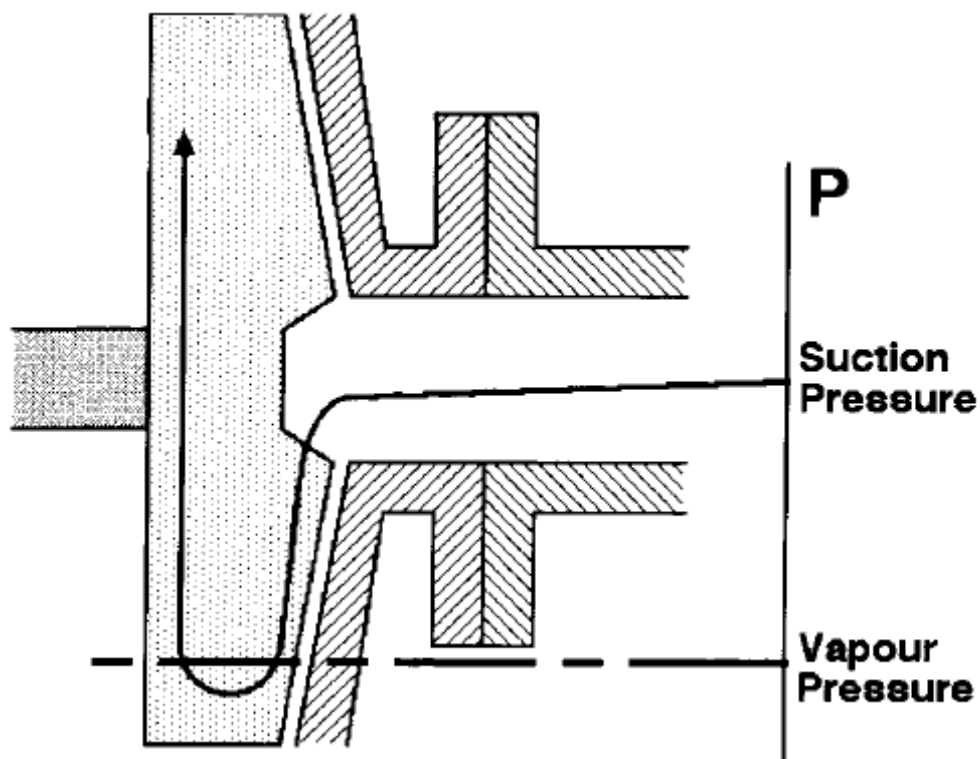
شرایط مکش پمپ

اگر مایع در شرایط درستی وارد چشمی پروانه نشود پمپ قادر نخواهد بود عملکرد مورد انتظار طراحی را تامین نماید. مهمترین مشکلی که ممکن است در مکش بوجود آید کاویتاسیون^۲ است. کاویتاسیون مربوط می شود به فشار بخار^۳ مایع. اگر فشار مایع کمتر از فشار بخار شود مایع خواهد جوشید و حبابهای بخار پدیدار خواهد شد. سیالی که توسط لوله مکش و از طریق دهانه ورودی، به مرکز پروانه پمپ وارد می شود به دلیل چرخش پروانه و مکش سیال، شتاب می گیرد. این افزایش سرعت سبب کاهش فشار سیال تا فشار بخار شده و حبابهای ریزی را در جریان بوجود می آورد ضمن اینکه حبابهای هوای محلول در سیال نیز آزاد شده و در محلهای پرفشار جریان می ترکند و باعث خرابی می شوند.

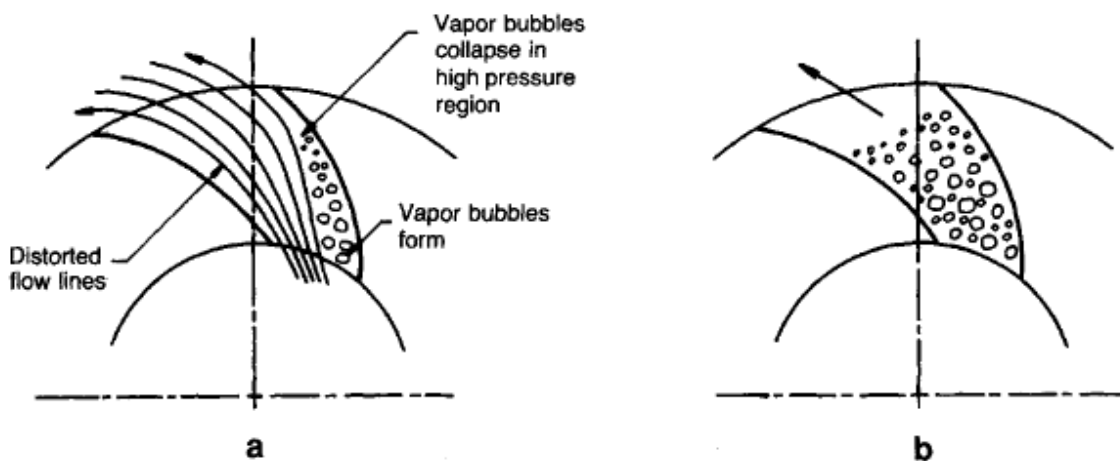
¹ header

² cavitation

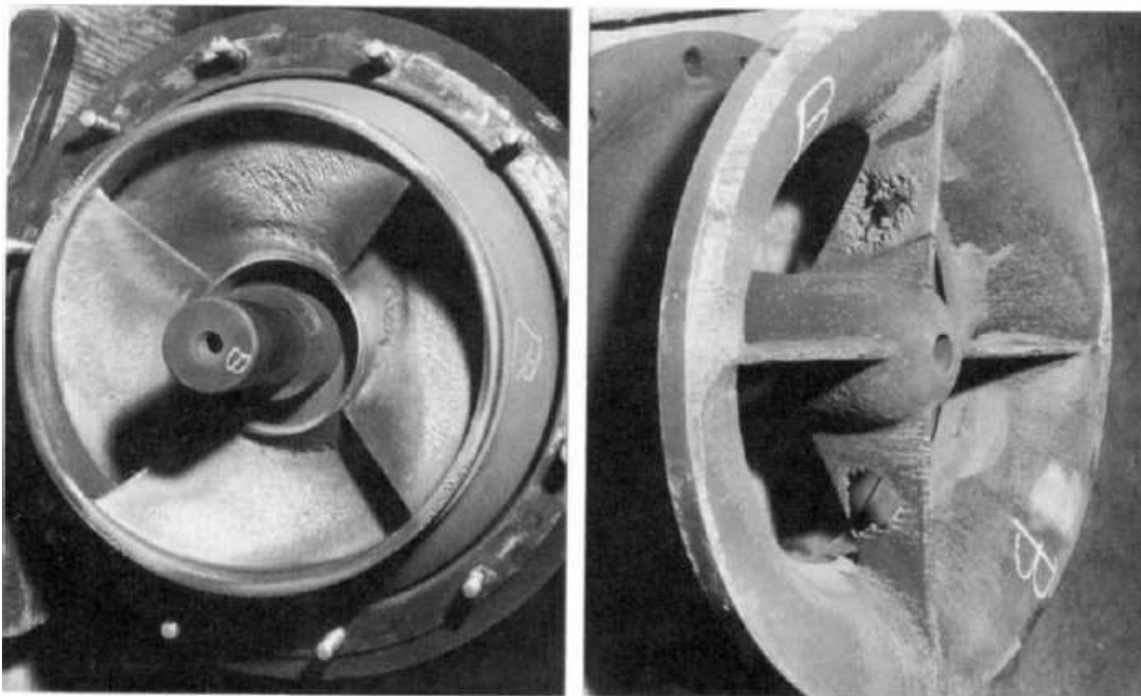
³ Vapor pressure



شکل (۴۰) گرادیان فشار در سمت مکش



شکل (۴۱) تشکیل حبابهای بخار بر روی پروانه پمپ: (a) کاویتاسیون جزئی (b) کاویتاسیون کلی



a

b

شکل (۴۲) آسیب ناشی از کاویتاسیون در یک پمپ عمودی : (a) پروانه (b) دهانه مکش

هد مکش مثبت خالص $NPSH$: انرژی فشاری لازم برای جلوگیری از تشکیل حبابهای بخار در چشمی پروانه پمپ.

$NPSH_a$ (در دسترس) تابع طرح سیستم است، در حالیکه $NPSH_r$ (مورد نیاز) حداقل هد لازم برای جلوگیری از کاویتاسیون می باشد. بنابراین باید : $NPSH_a > NPSH_r$
از اینرو برای حل مشکل کاویتاسیون بایستی :

(الف) $NPSH_r$ را کاهش داد.

- (۱) افزایش مساحت چشمی پروانه
- (۲) استفاده از پروانه با مکش از دو طرف
- (۳) استفاده از پمپ با سرعت کمتر
- (۴) انتخاب پمپ با ظرفیت کمتر
- (۵) استفاده از بوستر پمپ

(ب) NPSHa را افزایش داد.

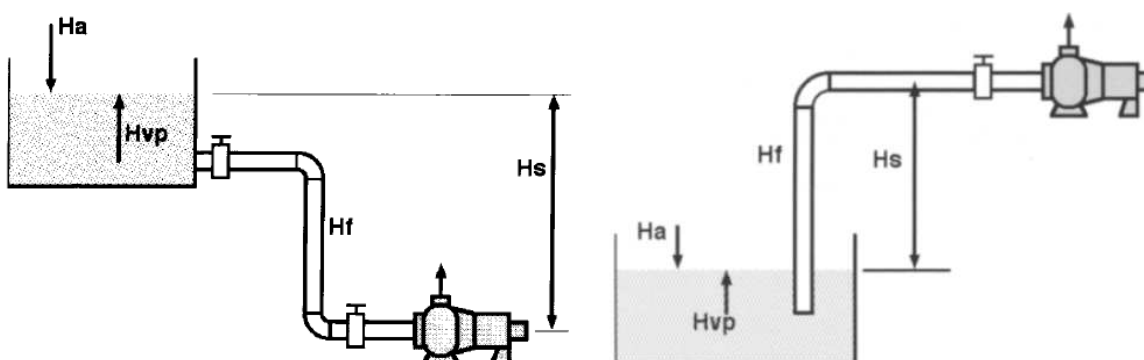
$$NPSHa = H_s + H_a - H_{vp} - H_f$$

H_s = هد استاتیک روی خط مرکزی پروانه

H_a = هد روی سطح مایع در تانک مکش

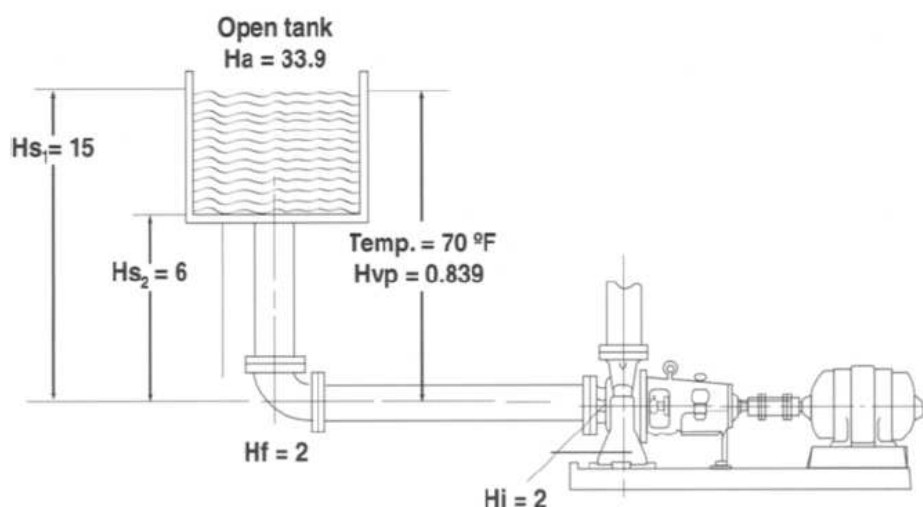
H_{vp} = فشار بخار مایع

H_f = افت اصطکاکی در خط مکش



شکل (۴۳)

(۱) کاهش لیفت مکش یا افزایش هد مکش (۲) کاهش افت هد مکش (۳) کاهش فشار بخار (با کاهش دمای سیال) (۴) کاهش سرعت چرخشی پروانه (۵) پرهیز از کار کردن در نزدیکی دبی مینیمم تعیین شده توسط سازنده.



شکل (۴۴)

مثال : در این شکل
میزان افت هد در
مسیر مکش و نیز
در ورودی پمپ به
همراه هد معادل
فشار بخار داده شده
است. برای بدترین
وضعیت ، ماکزیمم
مقدار NPSHr
چقدر می تواند
باشد؟

$$NPSHa = H_a + H_{s1} - H_{vp} - H_f - H_i$$

$$NPSHa = 33.9 + 15.0 - 0.839 - 2.0 - 2.0$$

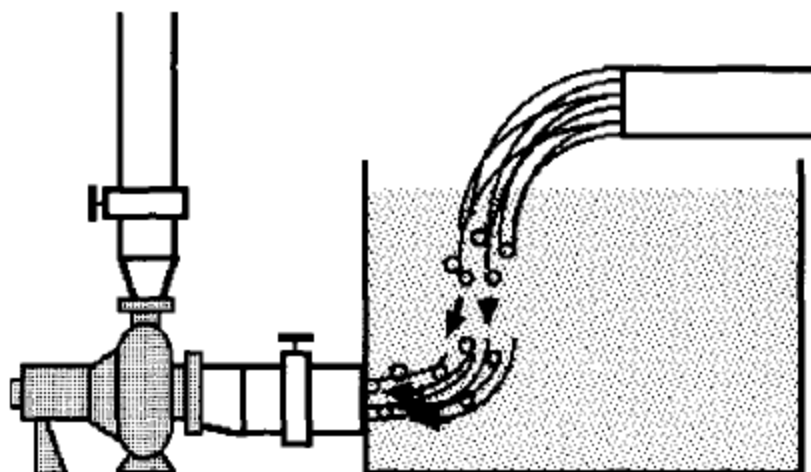
$$NPSHa = 44.061 \text{ feet}$$

بنابراین هد مکش مثبت خالص مورد نیاز باید کمتر از 44 ft باشد اما اگر مخزن تخلیه شود هد استاتیک آن به 6 ft کاهش پیدا می کند بنابراین وضعیت بدتر زمانی است که سطح مخزن به مینیمم مقدار خود رسیده باشد پس :

$$\begin{aligned} \text{NPSHa} &= H_a + H_{s2} - H_{vp} - H_f - H_i \\ \text{NPSHa} &= 33.9 + 6.0 - 0.839 - 2.0 - 2.0 \\ \text{NPSHa} &= 35.061 \text{ feet} \end{aligned}$$

یعنی NPSHr باید کمتر از 35 ft باشد.

گاهی وقتها با رعایت تمام این موارد، باز هم مشکل کاویتاسیون بطور کامل حل نمی شود. دلیل آن وجود سه عامل (۱) چرخش مجدد در خط مکش^۱ (۲) چرخش مجدد در خط دهش^۲ (۳) ورود هوا^۳ است. علت عامل (۱) و (۲) ناپایداریهای جریان مانند توربولنسی (آشفته‌گی)، جریان برگشتی و چرخش است. زمانیکه پمپ با دبی خیلی کم کار می کند (کمتر از ۳۰ درصد BEP)، عامل (۳) ناشی از وجود حبابهای هوا (به هر دلیل) در جریان آب است. اثر مخرب حبابهای هوا شبیه حبابهای بخار است.



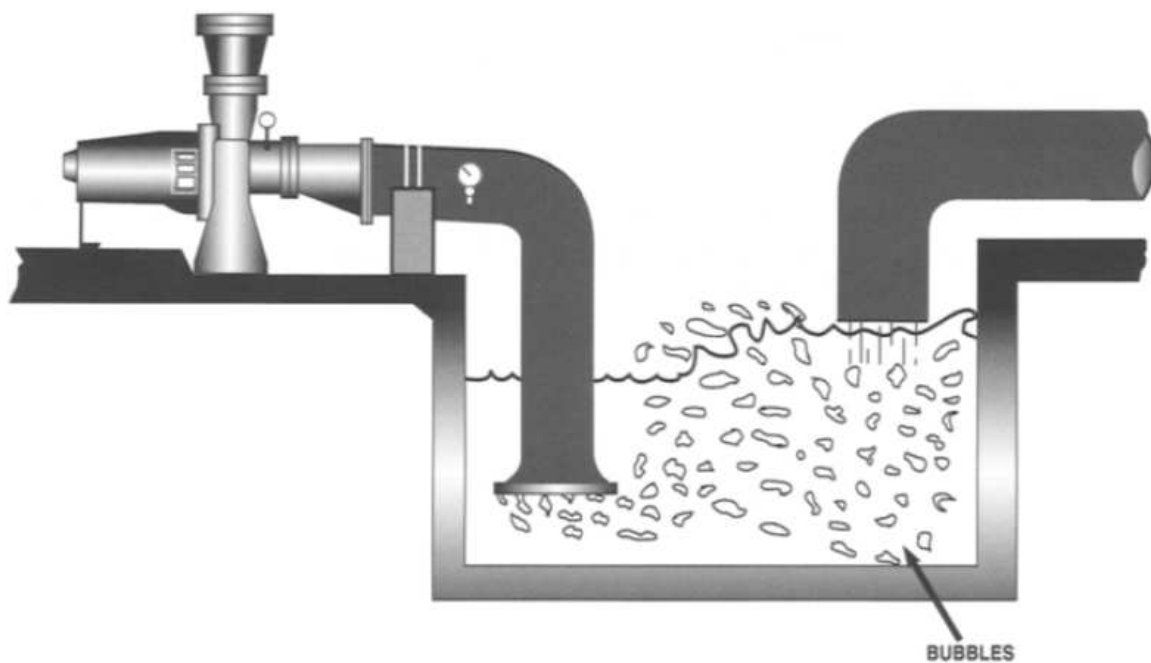
شکل (۴۵)

ورود زیاد حبابهای هوا، بیشتر ناشی از توربولنسی جریان در خط مکش می باشد. ورود این توربولنسی می تواند برای مثال از مخزنی باشد که سیال درون آن توسط میکسر یا همزن بحرکت درآمده است. یا می تواند ناشی از زانویی ها و اتصالات متعدد در مسیر مکش باشد. یا طراحی نادرست.

¹ Suction recirculation

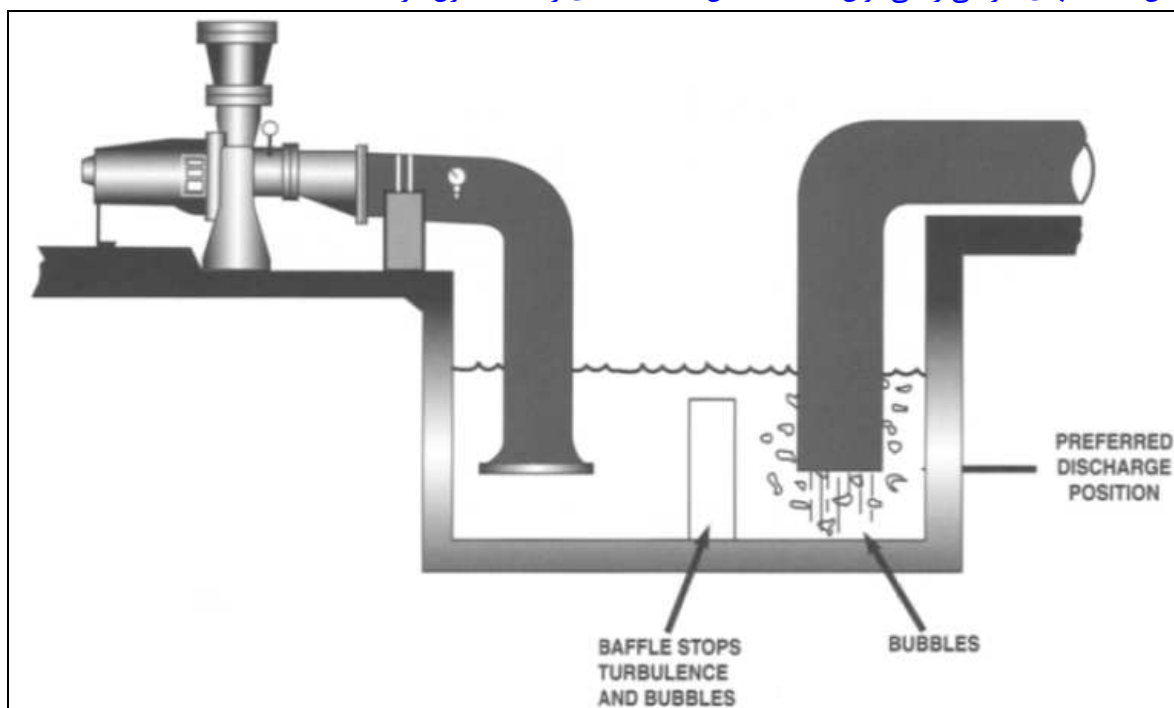
² Discharge recirculation

³ Air entrainment



شکل (۴۶)

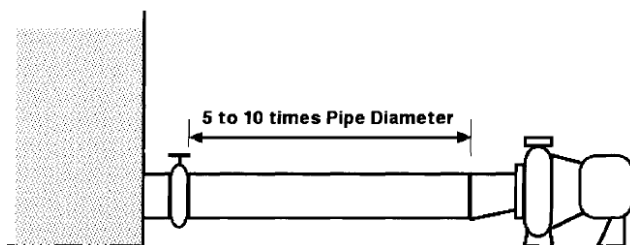
این آشفتگیهای جریانی را می توان به کمک بافل^۱ یا تیغه های راهنما کنترل کرد.



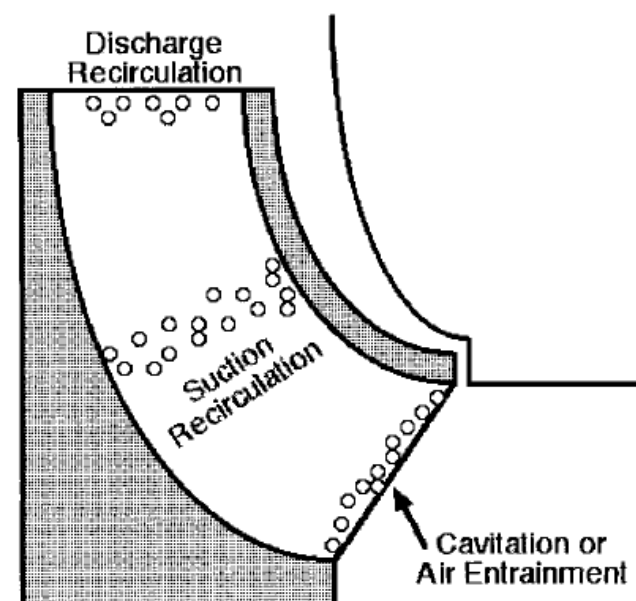
شکل (۴۷)

¹ Baffle

بهترین طول لوله مکش نیز در حدود ۵ تا ۱۰ برابر قطر لوله (و البته بصورت مستقیم) توصیه می شود.



شکل (۴۸)

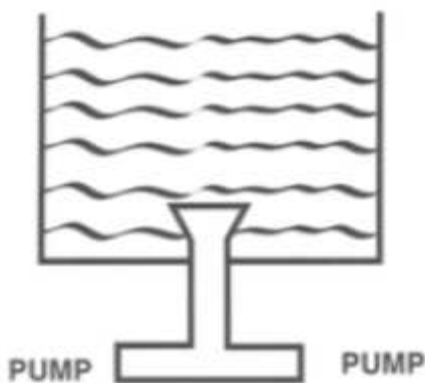


شکل (۴۹) مکان ترکیدن حباب ها بر روی تیغه پمپ

نکات مهم طراحی درباره لوله کشی پمپ

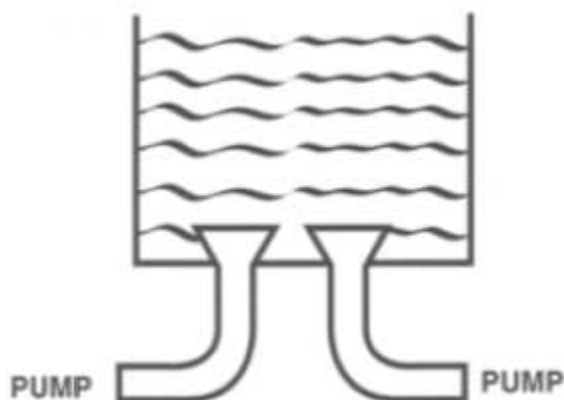
بر اساس تجربه فنی و دانش مکانیک سیالات، توصیه های تکمیلی برای کارکرد بهینه سیستمهای پمپاژ وجود دارد که به مهمترین آنها می پردازیم.

نادرست



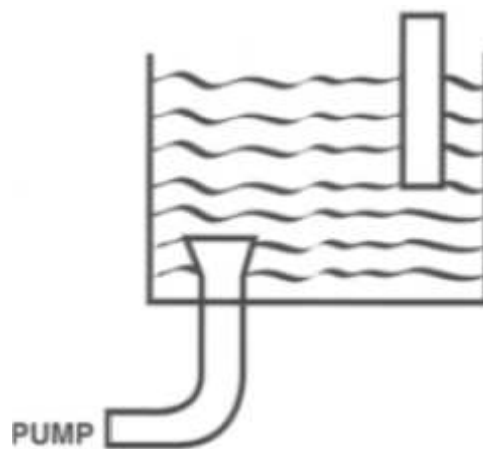
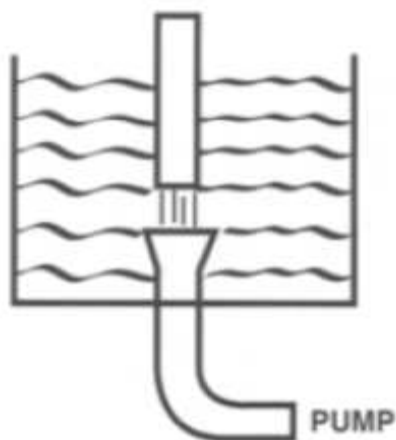
درست

(لوله تغذیه جداگانه)



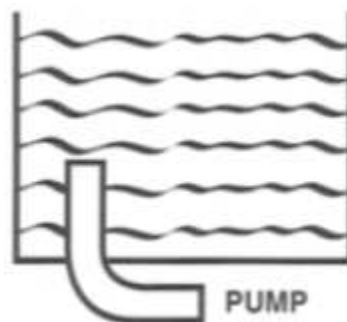
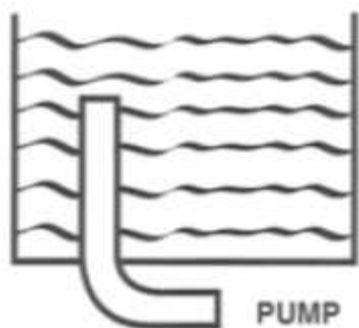
شکل (۵۰)

(عدم تداخل لوله مکش با لوله درین)

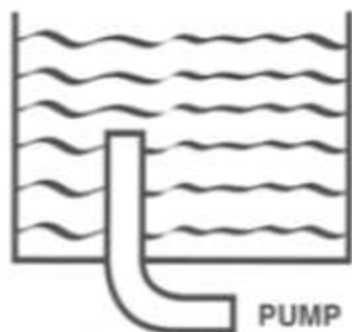


شکل (۵۱)

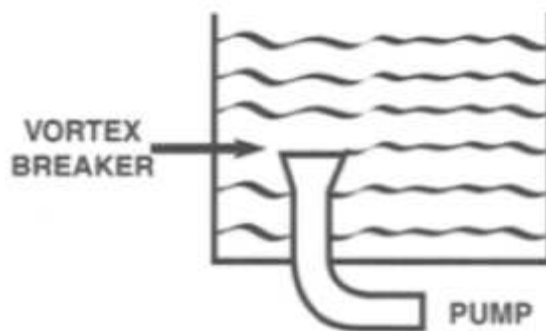
(عمق مکش کافی)



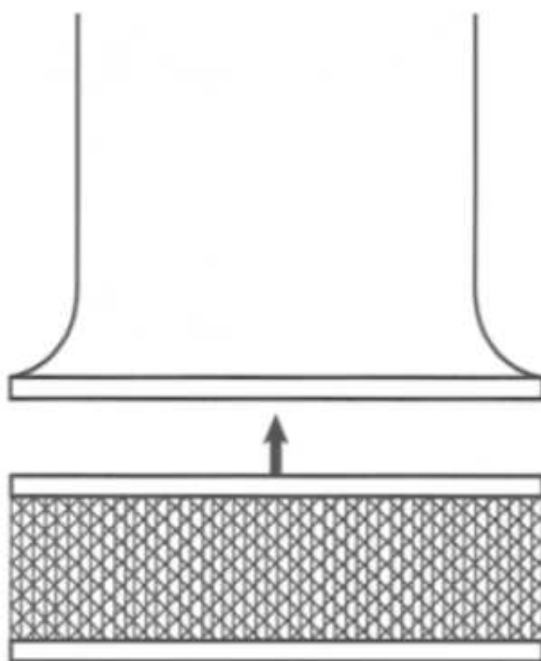
شکل (۵۲)



(استفاده از آرام کننده جریان)



شکل (۵۳)



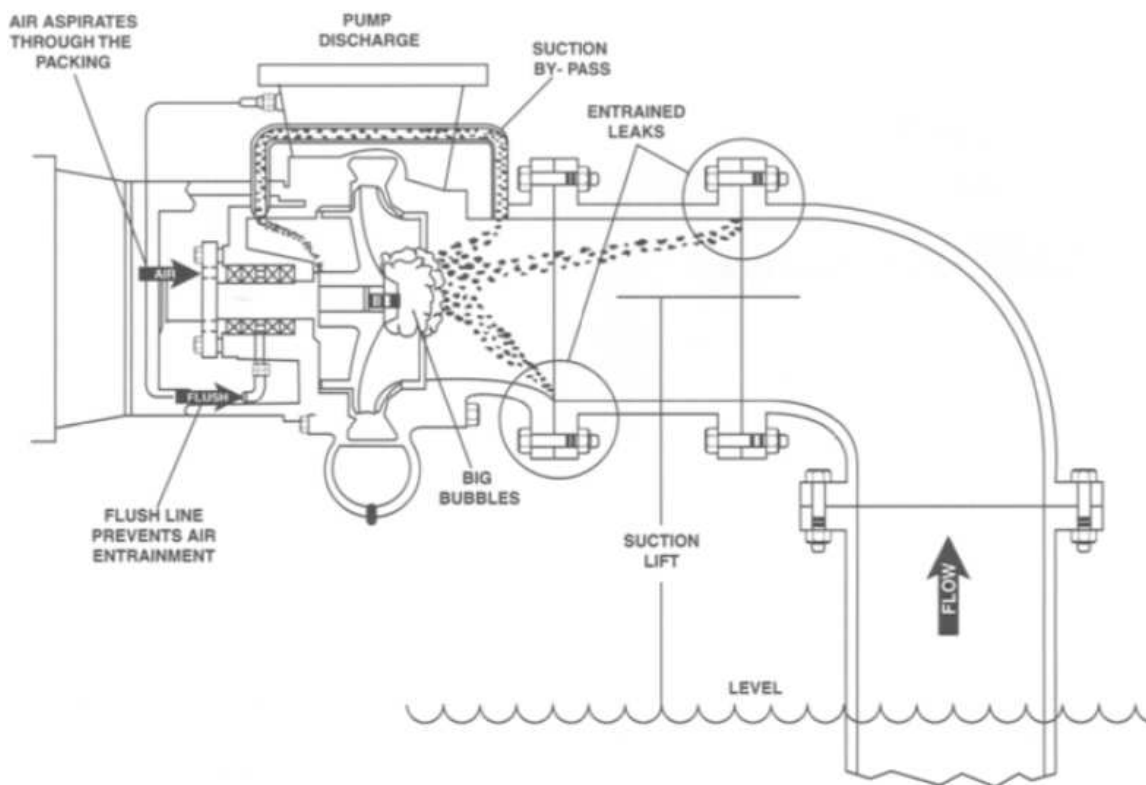
شکل (۵۴)

اگر از صافی سبکی^۱ در ورودی لوله مکش استفاده می شود مساحت سطح استرینر باید چهار برابر مساحت ورودی لوله باشد. در ضمن ، قسمت ورودی لوله مکش بمنظور کاهش اتلافات و جلوگیری از ایجاد ورتکس، بصورت یک ناقوس یا زنگوله^۲ شکل داده می شود.

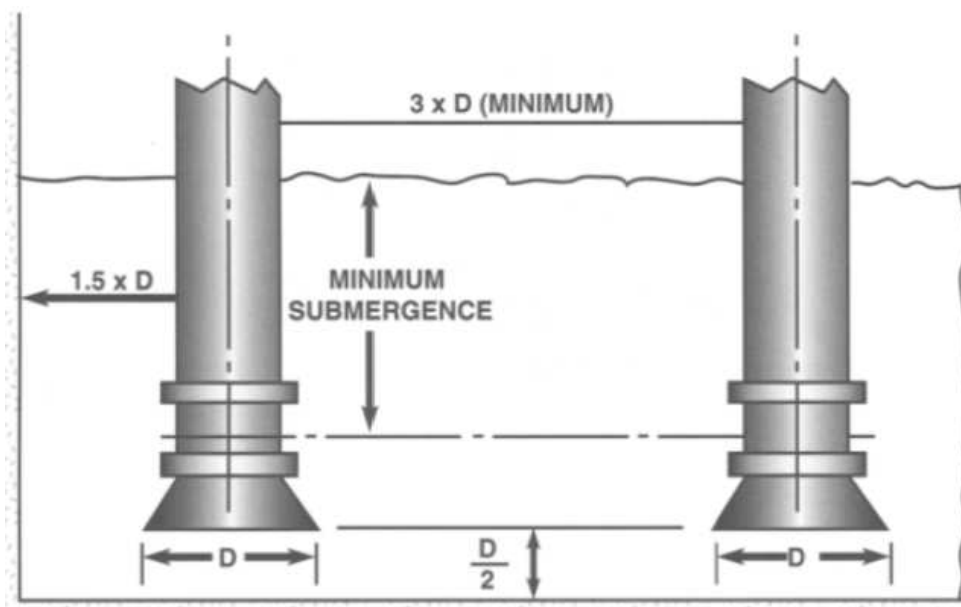
^۱ Basket strainer

^۲ Suction bell

سرعت در لوله مکش خیلی زیاد نباشد زیرا ممکن است باعث ورود هوا به پمپ شود.

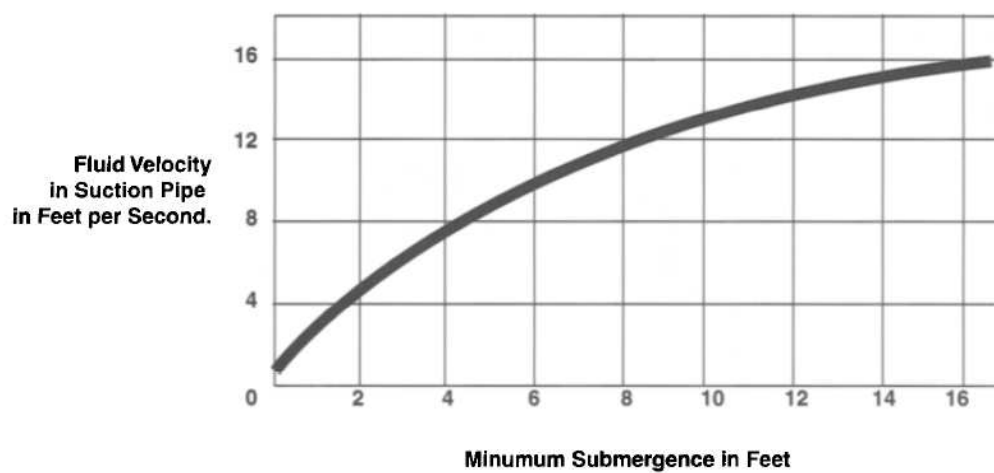


شکل (۵۵)



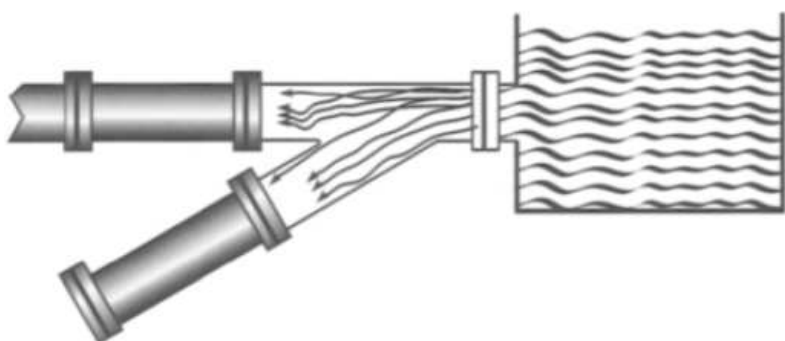
شکل (۵۶)

ابعاد
نسبی لوله
مکش دو
پمپ و
مخزن



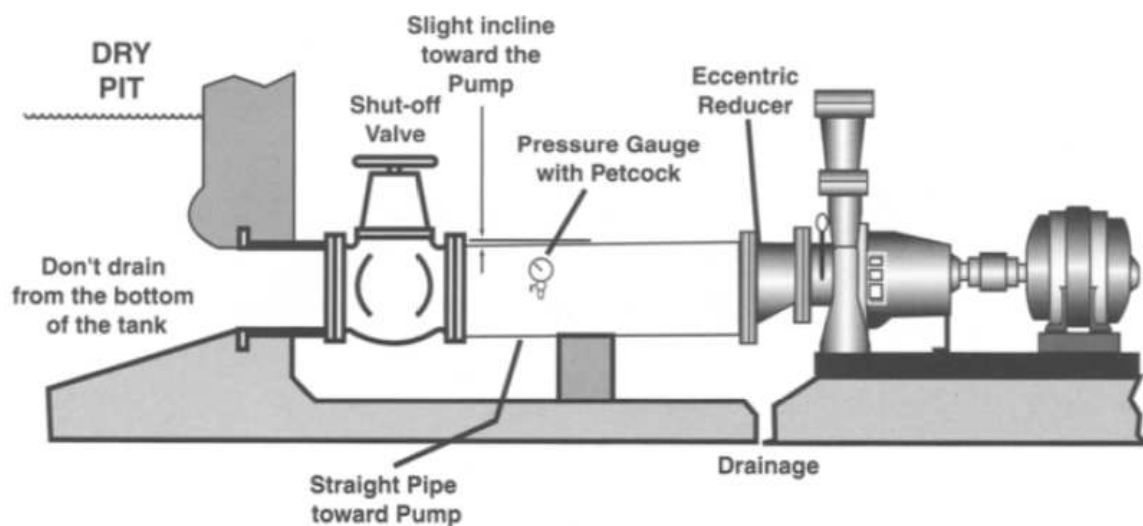
رابطه
مینیمم
غوطه
وری لوله
مکش با
سرعت
جریان در
لوله مکش

شکل (۵۷)



همچنین استفاده از انشعاب Y
بجای T سبب کاهش توربولنسی
می شود.

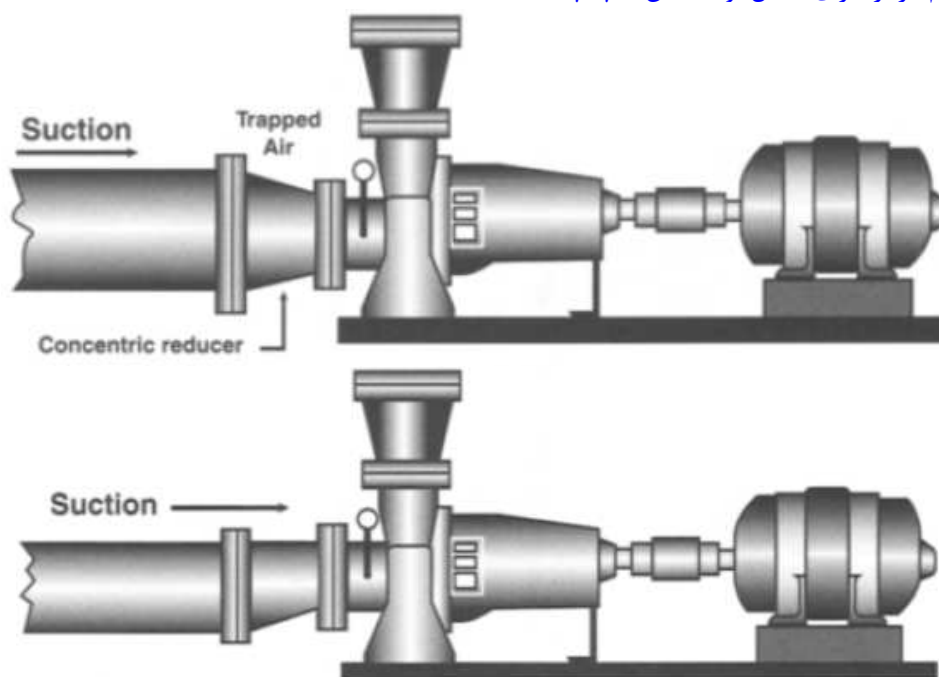
شکل (۵۸)



شکل (۵۹) اتصالات درست لوله مکش پمپ

استفاده از کاهنده نا هم مرکز^۱ برای اتصال لوله مکش به پمپ

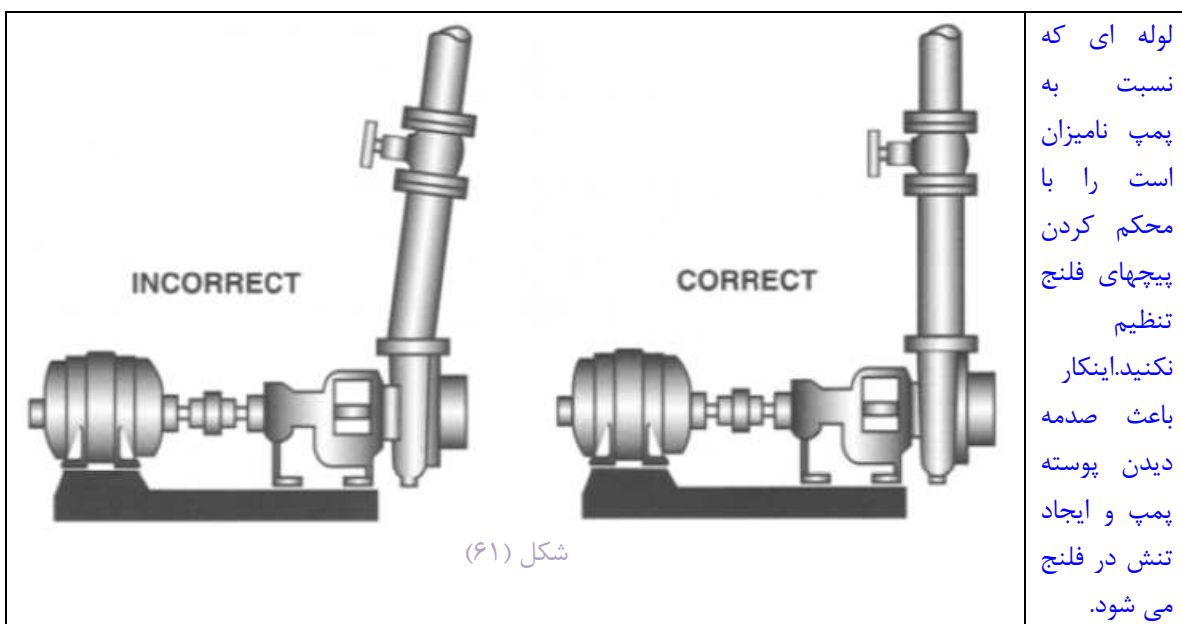
نادرست



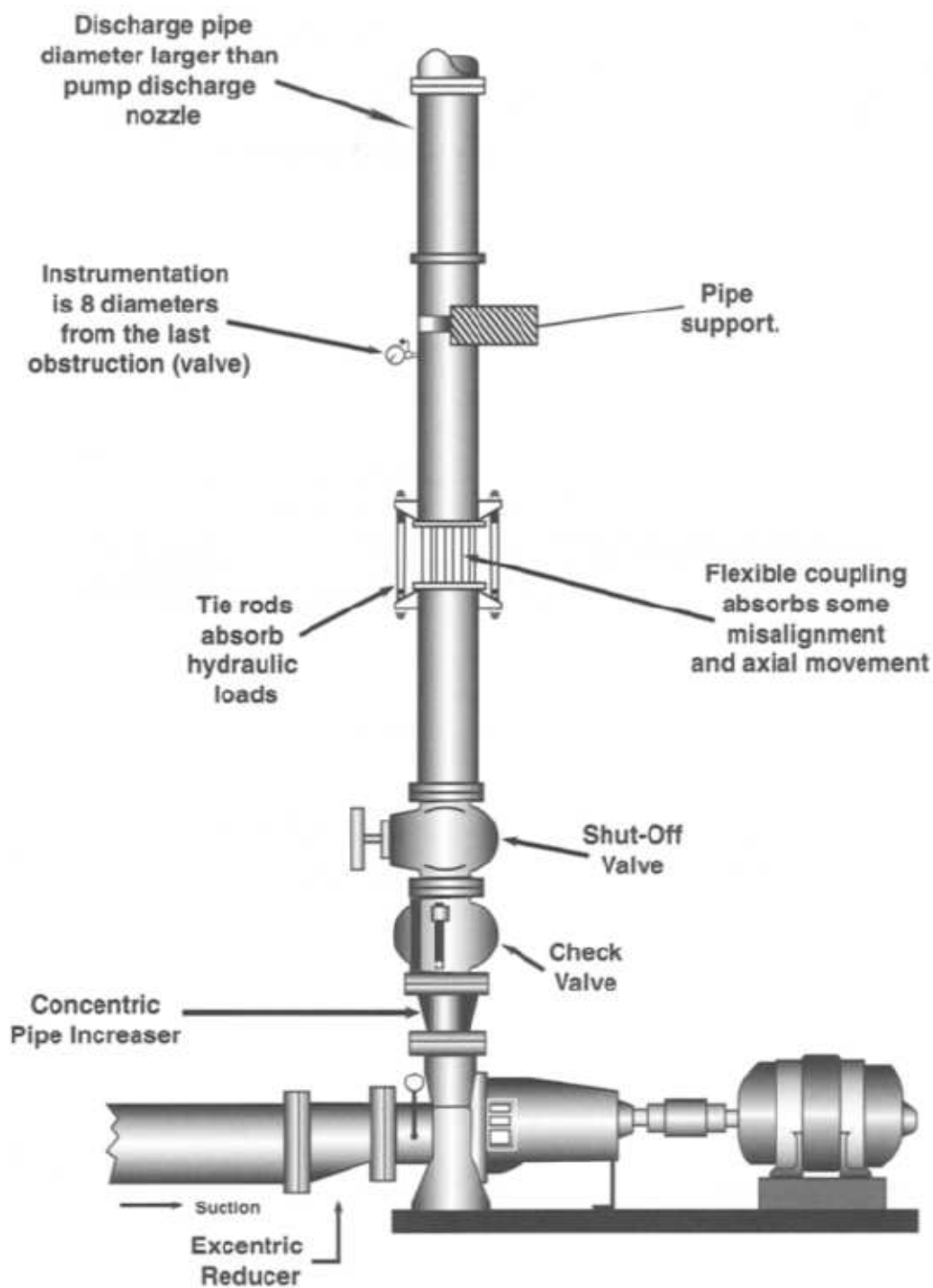
درست

شکل (۶۰)

^۱ Eccentric reducer



لوله کشی
درست لوله
دهش



شکل (۶۲)

کوپلینگ ها

کوپلینگ سخت



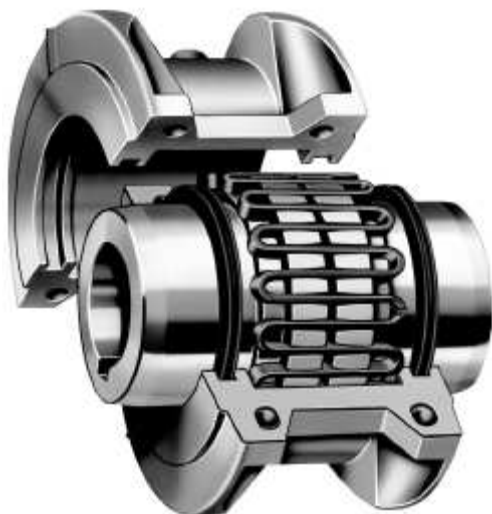
شکل (۶۳)

کوپلینگ دنده ای



شکل (۶۴)

کوپلینگ فنری



شکل (۶۵)

کوپلینگ دیسکی



شکل (۶۶)

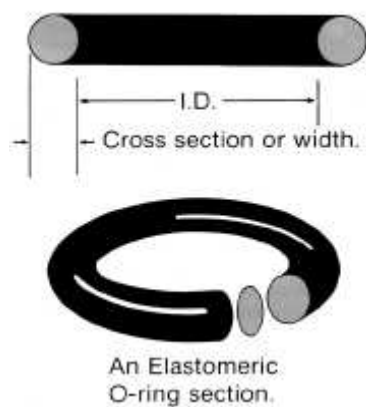
کوپلینگ پنجه ای (نرم)



شکل (۶۷)

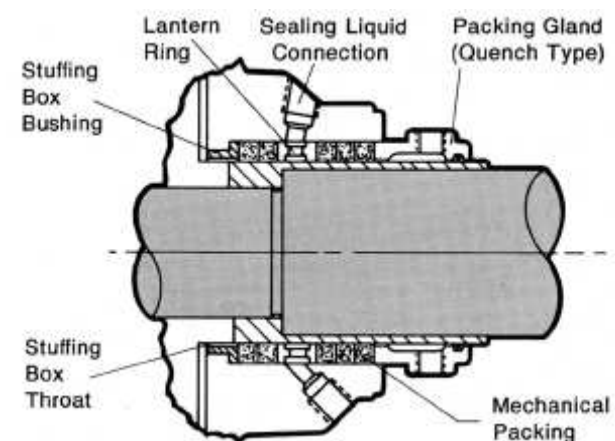
آببند (سیل)

اورینگ^۱



شکل (۶۸)

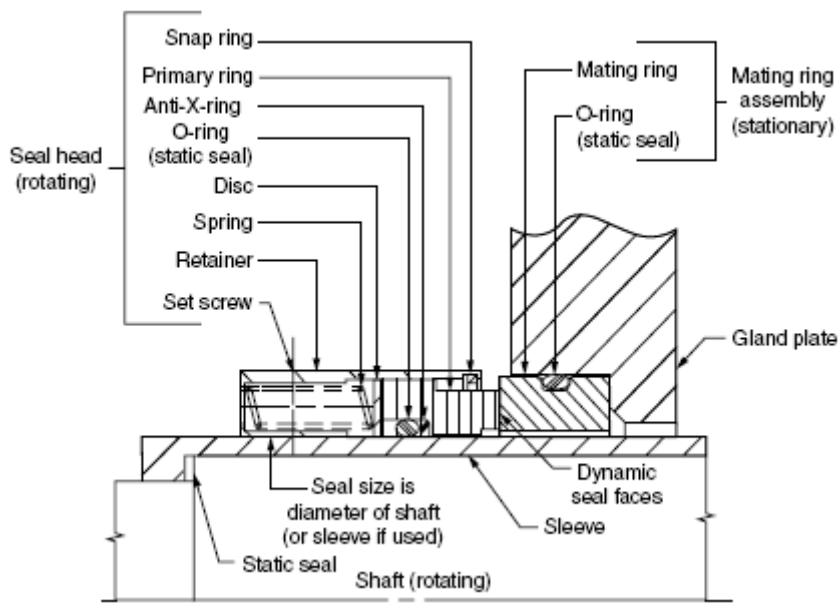
مجموعه پکینگ و لایه ها^۲



شکل (۶۹)

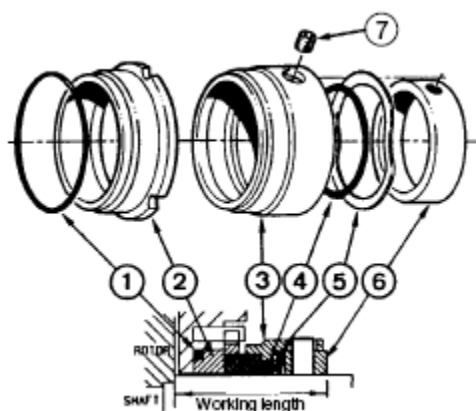
^۱ O - Ring

^۲ Stuffing box & packing

مکانیکال سیل^۱

شکل (۷۰)

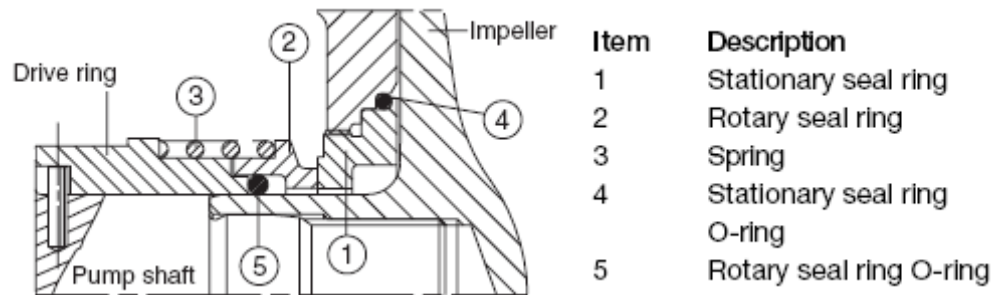
شامل دو سیل استاتیک (او رینگ) و یک سیل دینامیک است. جریان نشتی مایع از سمت چپ به راست است و سمت راست در فشار اتمسفریک قرار دارد. در حین کار، نیروی فنر و نیروی فشاری سیال سبب نزدیکتر شدن سطح سیل دینامیکی به قسمت ساکن شده و مسیر نشتی سیال را تنگتر می کند در نتیجه افت فشار بیشتر شده و نشتی مایع به حداقل می رسد.



Item	Description
1	Stationary seal ring O-ring
2	Stationary seal ring
3	Rotary seal ring
4	Rotary seal ring O-ring
5	Wave spring
6	Drive ring
7	Grub screw

شکل (۷۱) نوعی مکانیکال سیل مورد استفاده در پمپ روغن دورانی

¹ Mechanical Seal



شکل (۷۲) نوعی مکانیکال سیل بکار رفته در پمپ سانتریفوژ

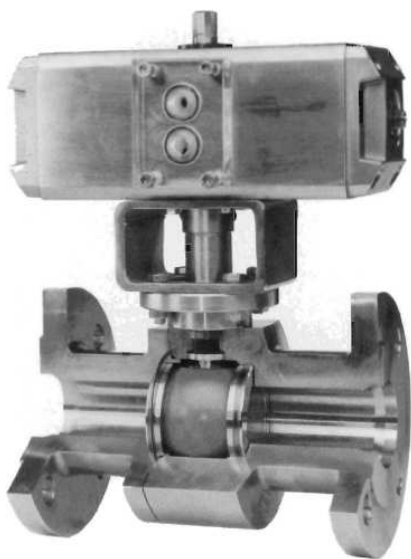
Valves

Ball valve



شکل (۷۳)

در زمره شیرهای گرانقیمت و پرکاربرد قرار دارد. توپی کرومی شیر، دارای یک سوراخ ارتباط دهنده ورودی و خروجی است که هنگام قرارگیری کامل در امتداد محور شیر، بیشترین قطر را برای عبور جریان دارد. با یک چرخش ۹۰ درجه توپی، شیر از وضعیت بسته به باز (و برعکس) تبدیل می شود.

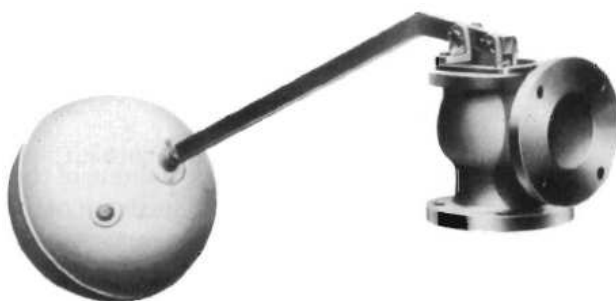


شکل (۷۴)

بطور معمول، نشیمنگاه (seat) شیرهای توپی کرومی از جنس نرم (غیرفلزی) ساخته می شوند. آببند (seal) این شیرها از جنس PTFE در ترکیب با پودر گرافیت، شیشه و آهن ساخته می شوند تا خواص مکانیکی قابل قبول را داشته باشند. اما در هرصورت وجود مواد ساینده در سیال و دما و فشار زیاد، سبب آسیب دیدن آببندهای پلیمری می شود.

اما شیرهای با نشیمنگاه فلزی (metal-seated) در برابر این خطرها مقاومتر هستند و ضمن آببندی کامل، مشکل مسدود شدن در اثر گرفتگی توپی در آببند (jam) را نداشته، در برابر دما و فشار بالا و نیز مواد ساینده کارایی بسیار خوبی دارند. آببند فلزی از آلیاژ نیکل و کوبالت و عناصری مانند کروم و تنگستن ساخته می شود.

Ball Float valve



A typical ball float valve.

شکل (۷۵)

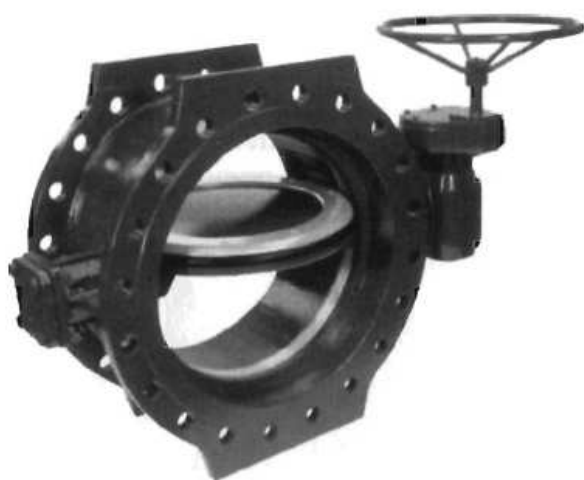
این شیر که برای کنترل آب جبرانی استفاده می شود از یک شیر کنترلی نوع پیستون و دیسک تشکیل شده که توسط یک مکانیزم اهرمی، سطح آب را در مقدار از پیش تعیین شده نگه می دارد.

Butterfly valve



شکل (۷۶)

شیر پروانه ای از یک دیسک تخت تشکیل شده که توسط یک مکانیزم محرک، با یک چرخش ۹۰ درجه، به حالت باز یا بسته در می آید. مکانیزم حرکتی شیر پروانه ای می تواند دستی یا پنوماتیک باشد که انتخاب آن بر اساس طراحی و میزان نیروی لازم برای باز و بسته کردن شیر صورت می گیرد. به طور معمول، آببندی شیر پروانه ای، توسط یک لایнер (liner) از جنس PTFE انجام می شود که تاحدی قابلیت انعطاف دارد.



شکل (۷۷)

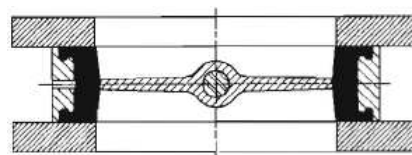
اما آببندهای فلزی (استنلس استیل) نیز که مزایای قابل توجهی دارند مورد استفاده قرار می گیرد: آببندی کامل - عدم گرفتگی شیر - گشتاور کم - گستره دمایی بیشتر - کنترل دقیقتر، از موارد برتری این نوع آببندها می باشد.

Butterfly valve

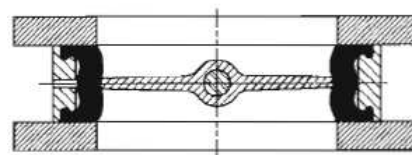
طرح زیر، مختص جامدهای خشک است (dry solids) که دارای یک سیت قابل تورم می باشد. این سیت در هنگام باز و بسته شدن، تماس ناچیزی با دیسک دارد.

اما در حین کار فرآیند :

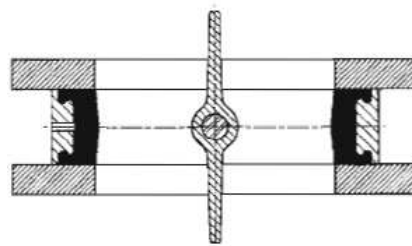
- ۱- زمان بسته بودن شیر ، فشار هوا سبب باد کردن سیت و آببندی کامل می شود.
- ۲- زمان باز بودن شیر ، فشار هوا برداشته شده و سیت به حالت اولیه خود بر می گردد.



Closed



Closed, inflated



Open, deflated

شکل (۷۸)

Butterfly check valve



شکل (۷۹)

شیر پروانه ای یکطرفه از دو نیمه دیسک تشکیل شده که در موقع عمل، در جهت پایین دست جریان باز می شوند. در حالت جریان معکوس، این دریچه ها (نیمه دیسک ها) در حدود ۴۵ درجه چرخیده، راه گذر جریان را می بندند.

از مزایای آن می توان به حجم و وزن کم ، تعداد قطعات و تحرک کم و در نتیجه هزینه تعمیر پایین اشاره کرد.

Globe valve



Bronze globe valve.

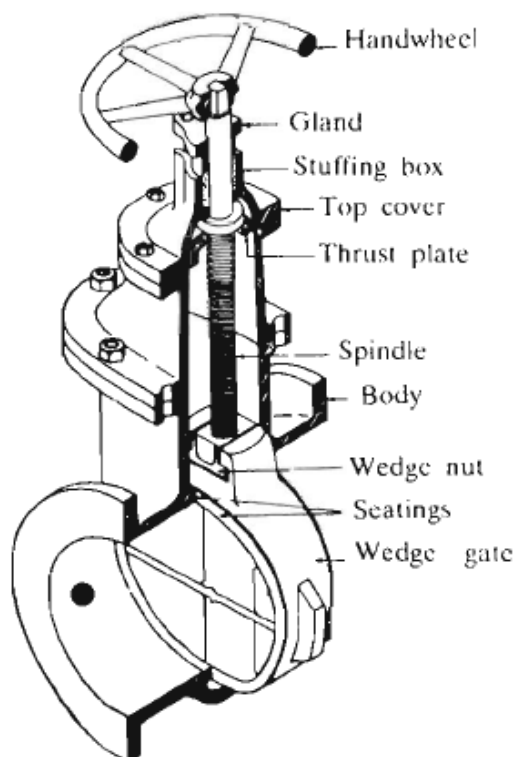
شکل (۸۰)

در شیر بشقابی، یک پارتیشن ، دو نیمه شیر را از هم جدا کرده است و جریان سیال توسط یک قامه (plug) که بوسیله مکانیزم رزوه ای بالا و پایین می رود کنترل می گردد.

این شیر کارایی خوبی در تنظیم و کنترل جریان دارد اما از طرف دیگر بدلیل مسیر انحرافی جریان، مقاومت زیادی در برابر جریان ایجاد می کند. اگر اندازه گلوگاه را برابر سایز لوله و نیز مسیر جریان را هموار و گرد طراحی کنیم این مقاومت تا حدی کمتر خواهد شد.

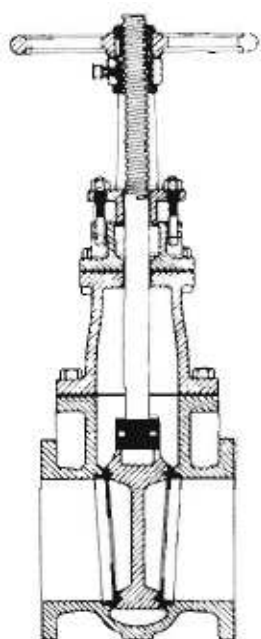
طرح قامه متنوع است : از حالت سوزنی تا نیمه دیسک. نشیمنگاه دیسک ممکن است همراه بدنه شیر ریخته گری شده باشد و یا بصورت فشاری یا رزوه ای در آن جاسازی شده باشد.

Gate valve



Internal screw

شکل (۸۱)

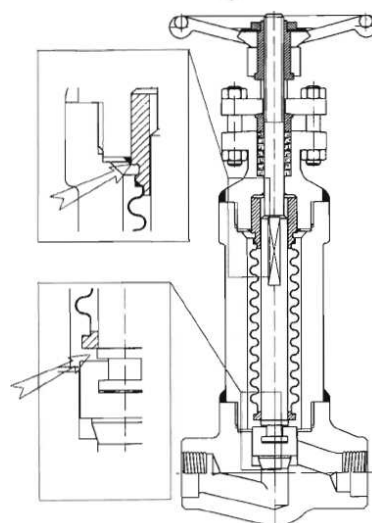
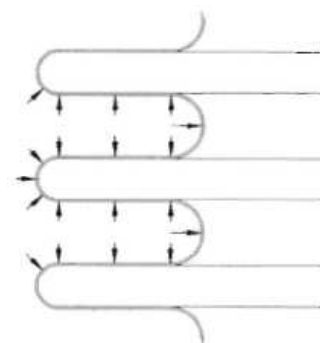


External screw

شکل (۸۳)

مشخصترین وجه تمایز شیر دروازه ای، دریچه یا دیسک لغزشی آنست که بصورت عمودی در شیار مربوطه بدنه حرکت می کند. دیسک شیر دروازه ای بصورت گوه ای (wedge) ساخته می شود و در نشیمنگاه خود توسط مواد پلاستیکی مانند PTFE آببندی می شود.

اگر سیال از نوع خطرناک یا زیانبار باشد (مانند اکسیژن) برای جلوگیری از ورود آن به محیط، از نوعی درزبندی مخصوص که Bellows نام دارد استفاده می شود.



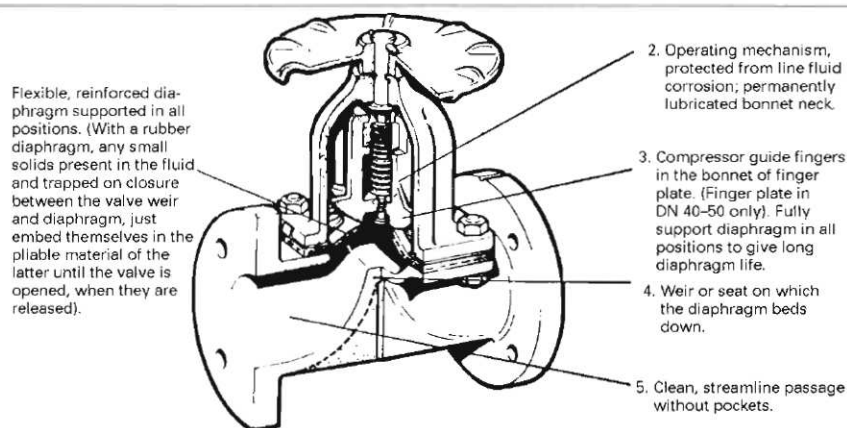
شکل (۸۲)

این ماده درزبند از نوع فلزی بوده و توانایی خوبی برای آببندی بین valve stem و bonnet دارد.

Diaphragm valve

در شیر دیافراگمی یک پرده یا دیافراگم الاستومری وظیفه باز یا بسته کردن مسیر جریان را برعهده دارد. بنابراین از ویژگی ارتجاعی بودن دیافراگم، عمل آبیندی نیز صورت می گیرد ضمن اینکه این شیرها برای مواد خورنده و فرسایشی نیز کاربرد دارند. محدودیت این شیرها در فشار و دمای کارکردی ماده دیافراگم می باشد. جنس دیافراگم ها در زیر داده شده است:

Material	Size		Temperature		Main uses
	mm	in	°C	°F	
Butyl rubber	15 to 350	0.6 to 14	-30 to 90	-22 to 134	Acids and alkalis
Nitrile rubber	15 to 350	0.6 to 14	-10 to 90	+14 to 134	Oils, fats and fuels
Neoprene	15 to 350	0.6 to 14	-20 to 90	-4 to 134	Oils, greases, air and radioactive fluids
Natural/synthetic rubber	15 to 350	0.6 to 14	-40 to 90	-40 to 134	Abrasives, brewing and dilute mineral acids
White natural rubber	15 to 125	0.6 to 5	-35 to 90	-31 to 134	Foods and pharmaceuticals White diaphragm
White butyl	15 to 150	0.6 to 6	-30 to 100	-22 to 212	Natural colour, foodstuffs plasticisers and pharmaceuticals
Viton*	15 to 350	0.6 to 14	+5 to 140	+41 to 284	Hydrocarbon acids, sulphuric and chlorine applications
Hypalon*	15 to 350	0.6 to 14	0 to 90	+32 to 134	Acid- and ozone-resistant
Butyl rubber	15 to 350	0.6 to 14	-20 to 120	-4 to 248	Hot water and intermittent steam services, sugar refining

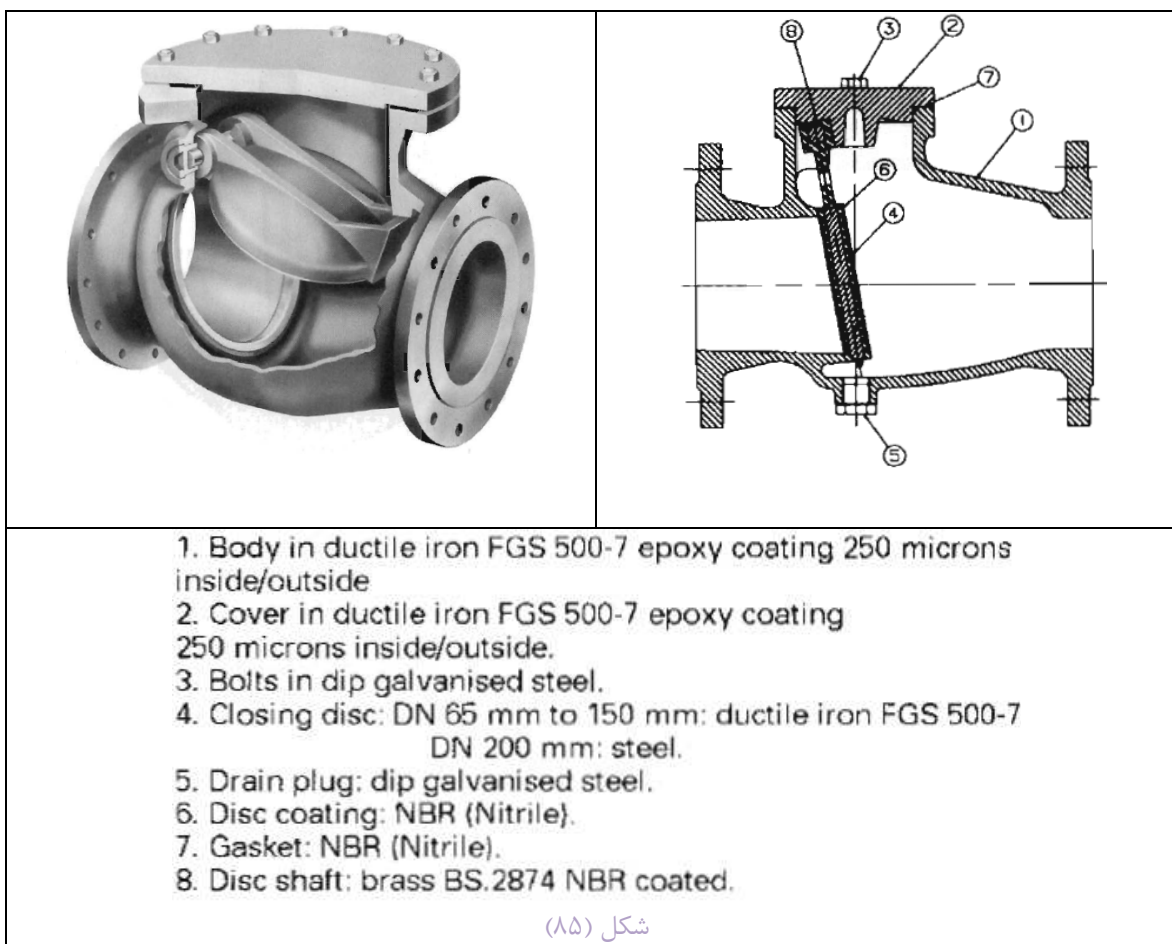


Standard diaphragm valve.

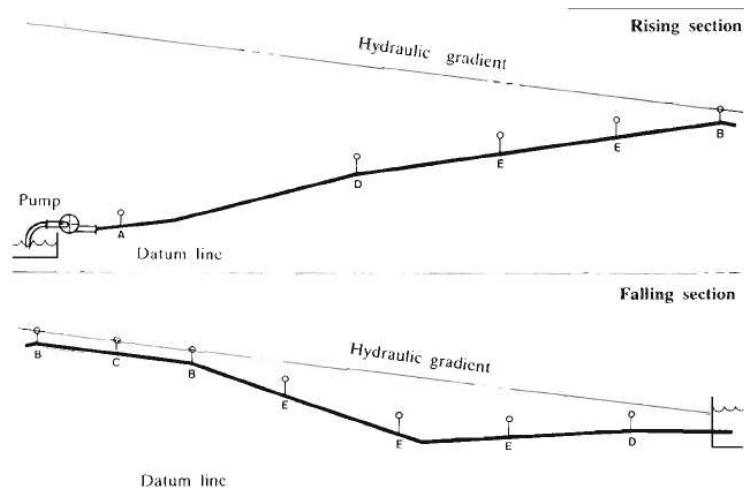
شکل (۸۴)

Swing check (Flap) valve

وظیفه شیر یکطرفه ، عبور جریان از یک سمت، و عدم عبور جریان از سمت دیگر است. شیر یکطرفه لولایی مقاومت نسبتاً زیادی دارد و نیز سبب آشفته شدن جریان می شود زیرا دریچه آن در مسیر جریان شناور است. این نوع شیر معمولاً در خطوط لوله افقی نصب می شود. نوع دو دریچه ای آن بخصوص برای سیستمهای پمپاژ و انتقال آب مناسب است. جنس بدنه آن از چدن، فولاد یا حتی پلاستیک می باشد.



Air Relief valve



شکل (۸۶)

هوا یا گازهای محبوس در خط لوله های حامل آب مشکل ساز هستند. علاوه بر اینکه باعث کاهش دبی جریان می شوند می توانند سبب کاویتاسیون و نیز ضربه های سیالی شوند. این هوا تمایل به جمع شدن در بالاترین نقاط سیستم لوله کشی را دارد. به این دلیل لازم است که در مناطق خاصی، شیرهای هواگیری (Air Vent) کار گذاشته شوند. این شیرها یا از نوع دستی هستند و یا اتومات. شیر اتوماتیک تخلیه هوا بایستی وظایف زیر را انجام دهد:

- ۱- آزاد کردن هوا و گازهای انباشته شده در خط لوله در حین کار نرمال سیستم، تا محدودیتی بر سر راه جریان وجود نداشته باشد.
- ۲- بقای سیال در خط لوله، بدون اتلاف تحت شرایط کارکردی.
- ۳- آزاد کردن هوا و گازها در حین پر کردن خط لوله با دبی کافی، تا مانع پس فشار بوجود نیاید.
- ۴- اجازه ورود هوا به خط لوله در حین خالی کردن آن، تا خلا اضافی در لوله ایجاد نشود.

شیر تک- اریفیس قادر به انجام وظایف ۱ و ۲ است و برای حجم تخلیه نسبتا کم هوا بکار می رود.

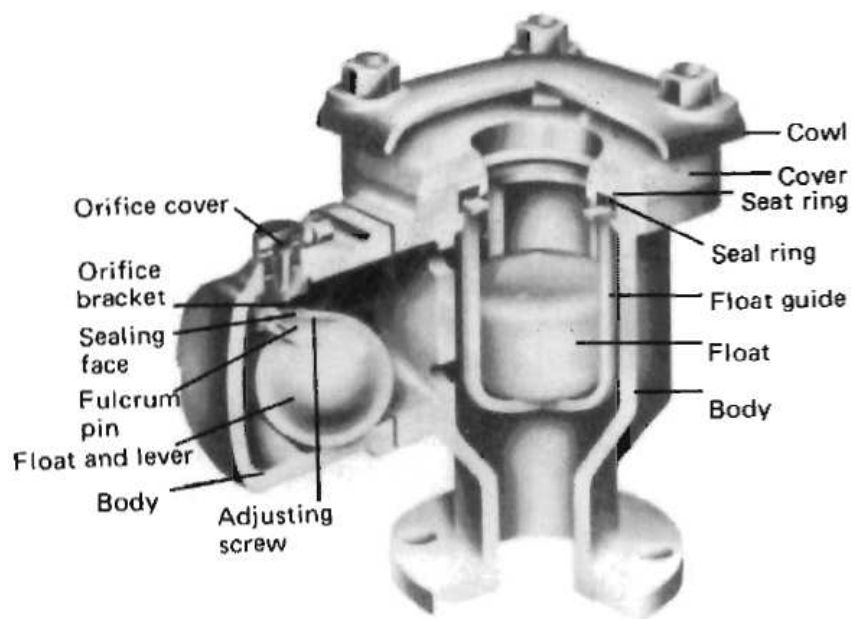


Figure 1. Single-orifice air relief valve.

شکل (۸۷)

شیر دو-اریفیس هر چهار کار را انجام می دهد.

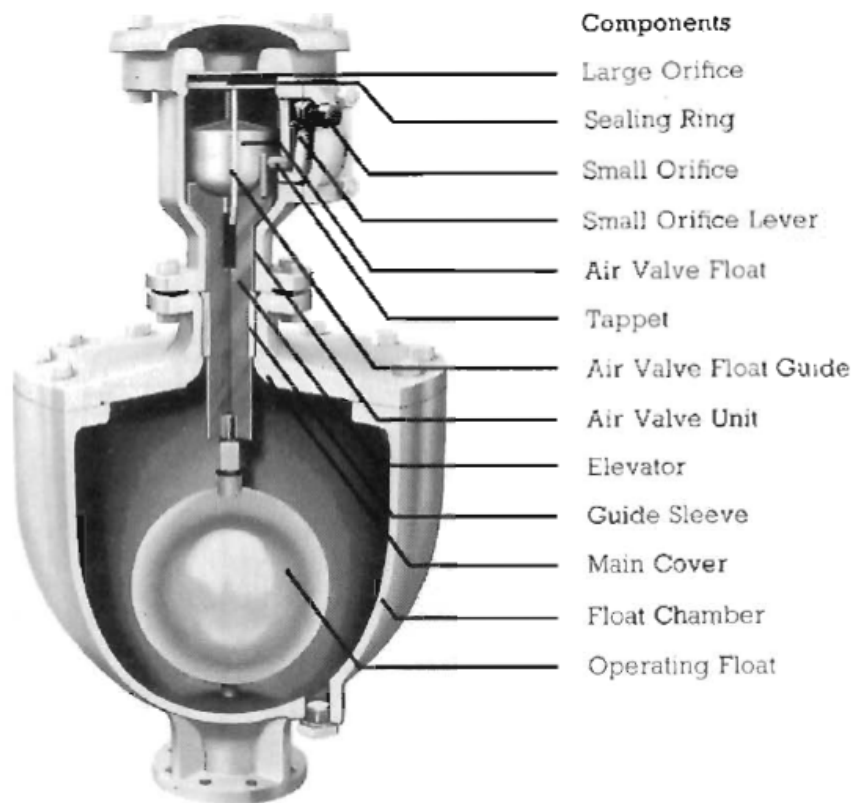
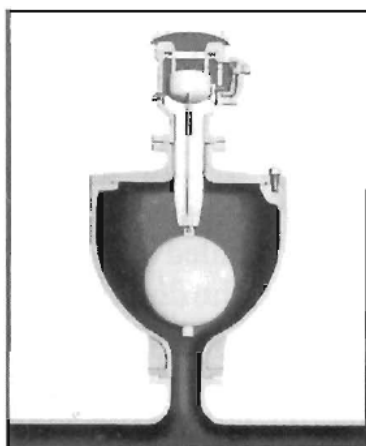


Figure 2. Dual-orifice air relief valve.

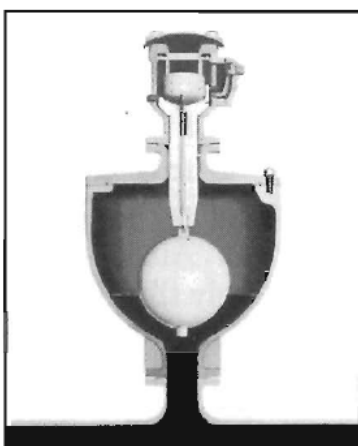
شکل (۸۸)

شیر دو-اریفیس از اریفیسهای کوچک و بزرگ تشکیل شده است. اریفیس کوچک شامل یک شناور و اهرم است که روزنه اریفیس کوچک را می بندند. زمانیکه محفظه شناور با آب پر می شود اریفیس توسط مکانیزم شناور و اهرم بندی بسته می شود. وقتیکه محفظه با آب تحت فشار پر می شود اریفیس بوسیله نیرویی مرکب از نیروی شناور و اختلاف فشار روی مساحت اریفیس بسته می ماند. در اثر ورود هوا به سیستم و انباشته شدن آن در محفظه تحت فشار کاری، سطح آب در محفظه پایین می آید تا به نقطه ای برسد که وزن شناور برای باز کردن اریفیس و تخلیه هوا کافی باشد. بدین ترتیب هوا بیرون فرستاده می شود تا سطح آب دوباره بالا آمده و باعث شود شناور ، اریفیس را ببندد. اریفیس بزرگ از یک شناوری تشکیل شده که روزنه اریفیس بزرگ را به سمت اتمسفر آببندی می کند. شناور در ارتفاعی از پیش تعیین شده و در غلاف خود بوسیله قفسی شیاردار که در ضمن، شناور را بداخل نشیمنگاه هدایت می کند نگه داشته می شود. در حین پر کردن یا خالی کردن خط لوله، شناور در شرایط ورود یا خروج هوا، ثابت می ماند. فقط وقتیکه آب وارد غلاف می شود و شناور را بدرون نشیمنگاه بالا می برد اریفیس می بندد.

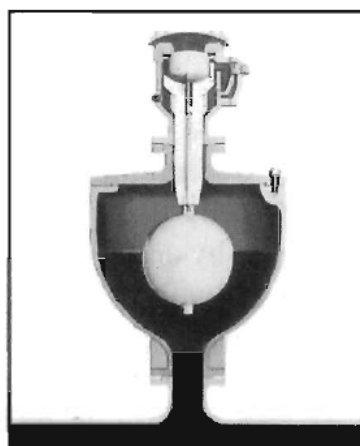
وقتی خط لوله خالی است شناور کروی از بالا برنده داخل محفظه اصلی آویزان است و شناور استوانه ای روی قفس راهنما قرار دارد. اهرم اریفیس کوچک توسط برآمدگی (tappet) روی بالا برنده، باز نگه داشته می شود. هوا بطور آزاد قادر به عبور از هردو اریفیس می باشد. طرح شیر بگونه ای است که جریان هوا، نیرویی مثبت بسمت پایین وارد میکند تا شناور استوانه ای در داخل قفس راهنما نگه داشته شود. زمانی که هوا از خط لوله تخلیه می شود مایع وارد محفظه اصلی شده، شناور را بالا می برد. بالا برنده (elevator) توسط شناور بالا رفته، شیر اریفیس کوچک را آزاد کرده، ضمن درگیر شدن با شناور استوانه ای، آنرا تا نشیمنگاه لاستیکی اریفیس بزرگ بالا می برد. در این نقطه هوا متوقف شده و جریان بیشتر مایع بداخل محفظه اصلی تحت فشار خط، هوا را تا رسیدن به ماکزیمم فشار کاری فشرده می کند. سطح سیال از وجه زیری کاور بالاتر نخواهد رفت. هنگامیکه خط لوله خالی شده و فشار می افتد محفظه اصلی شیر بدرون خط لوله درین می شود و به سبب آن، شناور استوانه ای، اریفیس بزرگ را باز می کند. موقعیکه فشار خط لوله تا فشار اتمسفر افت می کند این شناور، اریفیس کوچک را باز می کند. در اینصورت خط لوله آزادانه هوادهی می کند و شرایط فشاری زیر اتمسفر بوجود نمی آید. در حین شرایط کاری نرمال، هوا و گازها از مایع آزاد می شوند و تحت فشار در محفظه اصلی جمع شده، سطح مایع را پایین خواهند آورد. شناور اصلی همراه مایع پایین می آید اما فشار سیستم، شناور استوانه ای را بر روی نشیمنگاه اریفیس بزرگ نگه خواهد داشت. هنگامیکه شناور اصلی به حد مسیر خود برسد برآمدگی روی بالا برنده، اریفیس کوچک را باز کرده، هوا و گازهای انباشته شده تحت فشار را آزاد می کند. این به نوبه خود اجازه می دهد سطح مایع دوباره بالا بیاید و اریفیس کوچک را ببندد. در اینجا یک سیکل پایان می یابد.



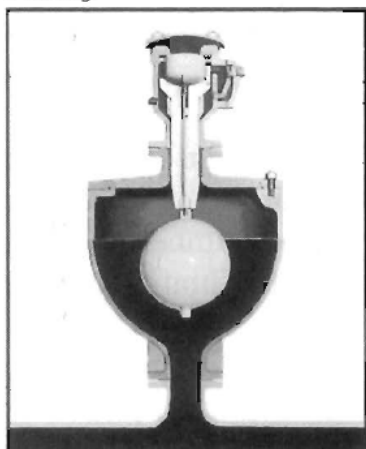
1 Venting



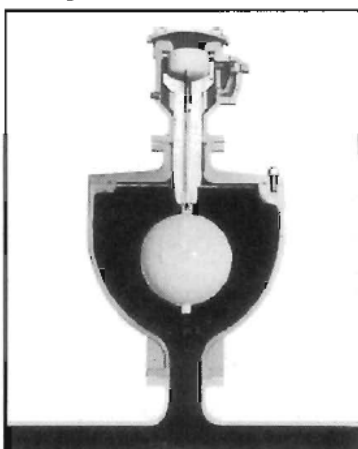
2 Filling



3 Closure



4 Sealing



5 Pressurisation

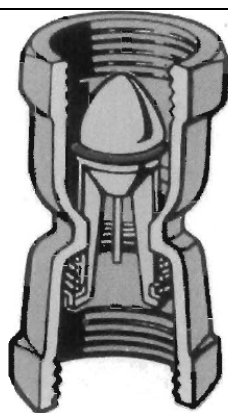


6 Relieving

شکل (۸۹)

Foot valve

این شیر در اصل یک شیر یکطرفه است که در انتهای خط مکش پمپ نصب می شود. زمانی که پمپ خاموش می شود وظیفه آن ، بدام انداختن آب است برای پیش راه اندازی پمپ در استارت بعدی. در پمپهایی که خود پیش راه انداز (self-priming pump) هستند نیازی به این شیر نیست.



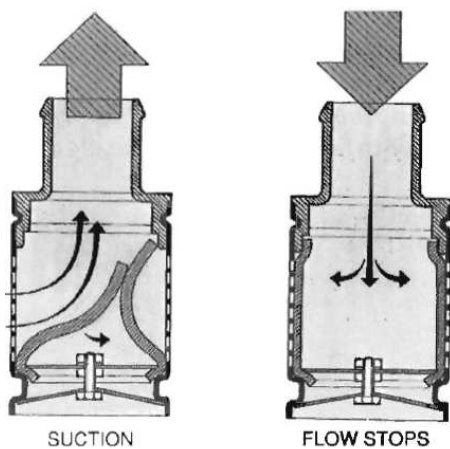
1. Foot valve with plastic tripod.

شکل (۹۰)



Poppet-type foot valve with strainer.

شکل (۹۱)



شکل (۹۲)

Membrane foot valve



پیوست

روابط افت هد در لوله ها

رابطه تحلیلی زیر برای محاسبه افت هد در لوله ها بکار می رود :

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad \text{فرمول داریسی - ویسباخ¹}$$

f = ضریب اصطکاک

D = قطر لوله

L = طول لوله

V = سرعت متوسط جریان

g = شتاب گرانش

برای محاسبه ضریب اصطکاک (f) می توان از دیاگرام مودی² بهره جست. اما روابطی نیز به این منظور پیشنهاد شده اند که به ویژه برای کار کامپیوتری مناسب هستند.

ضریب اصطکاک در جریان آرام ($Re < 2100$) از رابطه ساده $f = \frac{64}{Re}$ حساب می شود.

در جریانهای توربولنت (آشفته) ، ضریب اصطکاک با عدد رینولدز و زبری نسبی رابطه دارد و چون این رابطه بصورت ضمنی می باشد محاسبه f در جریان توربولنت نیاز به حدس و خطا دارد. یکی از روابط پیشنهادی برای محاسبه ضریب اصطکاک در جریان توربولنت درون لوله ها ، رابطه کلبروک - وایت می باشد :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{D} + \frac{9.35}{Re \sqrt{f}} \right)$$

مقدار زبری نسبی لوله ها در جداول مربوطه داده شده است.

¹ Darcy-Weisbach

² Moody diagram

رابطه تجربی زیر برای محاسبه افت هد در لوله ها بکار می رود :

$$\begin{aligned} ES \quad Q &= 1.318 C_{HW} AR^{0.63} \left(\frac{h_f}{L} \right)^{0.54} \\ SI \quad Q &= 0.849 C_{HW} AR^{0.63} \left(\frac{h_f}{L} \right)^{0.54} \end{aligned} \quad \text{فرمول هیزن - ویلیامز¹}$$

که C_{HW} ضریب زبری هیزن - ویلیامز و $R = A/P$ ، $A = \frac{\pi}{4} D^2$ می باشد. P محیط خیس شده است.

اگر Q مشخص باشد و بخواهیم افت هد را حساب کنیم معادله هیزن - ویلیامز در مورد لوله ها بشرح زیر خواهد بود :

$$\begin{aligned} ES \quad h_f &= 4.73 \frac{L}{C_{HW}^{1.852} D^{4.87}} Q^{1.852} \\ SI \quad h_f &= 10.7 \frac{L}{C_{HW}^{1.852} D^{4.87}} Q^{1.852} \end{aligned} \quad \text{در سیستم انگلیسی ، D و L بر حسب فوت می باشد.}$$

C_{HW} در جداول مربوطه داده شده است.

در تحلیل توزیع جریان در شبکه های بزرگ لوله کشی بهتر است افت هد در هر یک از لوله ها توسط یک رابطه توانی بیان گردد :

$$h_f = KQ^n \quad \text{فرمول توانی}$$

مقادیر K و n بسادگی از فرمول هیزن - ویلیامز بدست می آید.

برای فرمول دارسی - ویسباخ نیز می توان f را در یک دامنه محدود از رابطه زیر تخمین زد :

$$f = \frac{a}{Q^b}$$

که با جایگزینی در فرمول دارسی - ویسباخ داریم :

$$n = 2 - b$$

$$K = \frac{aL}{2gDA^2}$$

¹ Hazen-Williams

اتلافهای جزئی

گرچه به این اتلافها واژه جزئی اطلاق می شود اما در خیلی موارد (مانند لوله های کوتاه یا شیر فلکه های نیمه باز و ...) افت هد ناشی از دهانه ها ، زانویی ها ، شیر ها و ... بخش قابل توجهی از اتلافات را شامل می شوند. اصول حاکم بر جریان سیال و نیز شواهد تجربی بیانگر این واقعیت هستند که افت هد تقریباً متناسب با توان دوم سرعت (یا توان دوم دبی) تغییر می کند بنابراین اکثر افتهای جزئی را به صورت زیر نمایش می دهند :

$$h_l = K_l \frac{V^2}{2g} \quad \text{or} \quad h_l = C_l Q^2 \quad , \quad \text{where,} \quad C_l = K_l / (2gA^2)$$

مثال : یک خط لوله چدنی به قطر 4 in و طول 500 ft را در نظر بگیرید که روی آن یک شیر کروی تمام باز قرار دارد. در صورتیکه کل افت هد 30 ft باشد دبی جریان و سهم شیر را در این افت هد مشخص کنید. $\frac{\epsilon}{D} = 0.002$, $\nu = 10^{-5} \text{ ft}^2/\text{s}$

حل :

$$h = h_f + h_l = 30$$

$$f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + K_l \frac{V^2}{2g} = 30 \quad \Rightarrow \quad \left(f \frac{L}{D} + K_l \right) \frac{V^2}{2g} = 30$$

$$[f(1500) + 10] \frac{Q^2}{(\pi^2 D^4 / 16) \times 2g} = 30$$

که با جایگذاری $D = \frac{4}{12} \text{ ft}$ و $g = 32.2 \text{ ft/s}^2$ خواهیم داشت :

$$[f(1500) + 10] \frac{Q^2}{0.5} = 30$$

که با اندکی حدس و خطا پاسخ مساله چنین می شود :

$$f = 0.024$$

و در این وضعیت ، تقریباً 22% کل افت هد را این شیر ایجاد می کند.