A-PDF Watermark DEMO: Purchase from www.A-PDF.com to remove the watermark

چاپ در پیشگامان تاسیسات در شماره های ۴۴ و ۴۵

نکات مهم در لوله کشی برج های خنک کننده

تهیه و تنظیم : مهندس سید رحیم آشناخواه

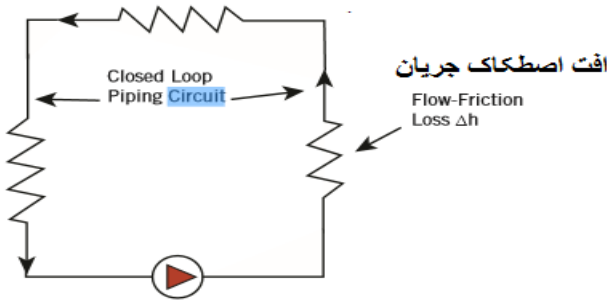
http://www.mohandes-iran.com

مشکلات معمول در لوله کشی پمپ ها در برج های خنک کننده را می توان به شرح ذیل تقسیم بندی کرد.

۱- محاسبات غلط هد پمپ
۲- کاویتاسیون و از دست دادن توان پمپ بعلت فشار نامناسب در مکش پمپ
۳- وجود هوا در قسمت مکش پمپ بعلت وجود گرداب در تشت برج ، لوله تخلیه تشت و یا نامناسب بودن مسیر کنار گذر(Bypass)
۴- عدم ثابت بودن نقطه کار پمپ بعلت
الف –عدم کارکرد مناسب کنترلر ها در خط کنارگذر
ب - وجود افت فشار زیاد در افشانک های
۵- عدم نگهداری صحیح بعلت
الف- گرفتگی صافی در خط مکش
ب - عدم تصفیه مناسب و کنترل در کیفیت آب

هد مورد نیاز در سامانه مدار باز

بررسی **هد** مورد نیاز در سامانه مدار باز برج های خنک کننده با مدار های بسته بسیار متفاوت و فرق دارد . این تفاوت و اختلاف شامل موارد ذیل می شود.



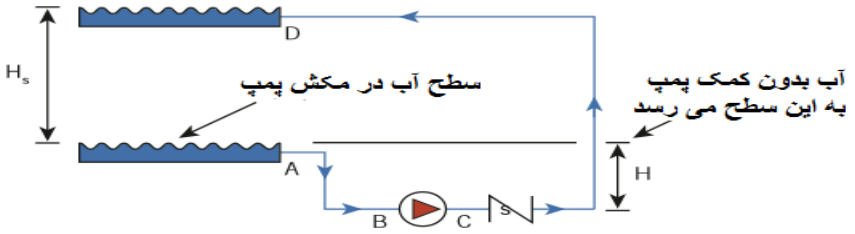
شکل 1: فشار استاستیک در ملاحضات انتخاب پمپ نقشی ندارد

Figure 1. Static Height Not Considered for Pump Selection in Closed Loop

در سامانه های **بسته** نیازی به بررسی هد استاستیک وجود ندارد چرا که این هد در
۱- رایزر های رفت و برگشت بحالت تعادل می رسند و یکدیگر را ملغی می کند.
۲- در سامانه بسته افت فشار استاستیک (Static Head Loss) در جریان آب به هر ارتفاعی در رایزر لوله رفت با هد استاستیک در لوله برگشت بهبود دوباره (Regain) می شوند. لذا می توان اینطور عنوان کرد که تنها چیزی که در انتخاب پمپ در مدار های بسته مورد نیاز است افت اصطکاک فشار جریان (Flow-Friction Pressure Drop) است و نه استاستیک ارتفاع (Static Hights) .

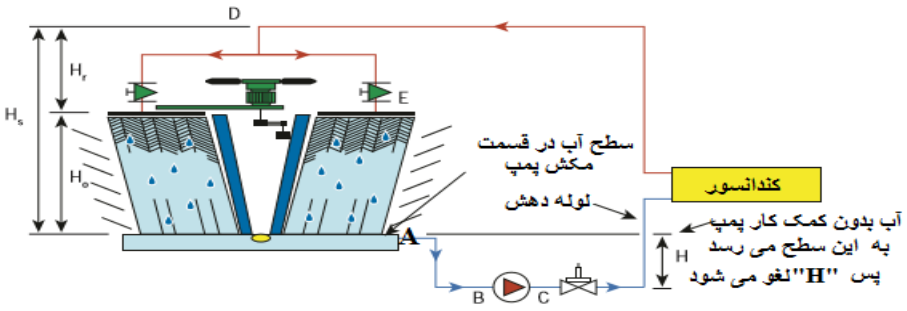
http://www.mohandes-iran.com

۳- در سامانه های باز فشار استاستیک قابل کنسل وملغی شدن نیست
۴-در سامانه های برج های **مدار باز** پمپ می بایست آب را از پائین دست بطرف بالا هدایت کنند، در حقیقت در این نوع سامانه پمپ آب حتما باید در محلی نصب شود که همیشه ارتفاع مثبت در دو طرف پمپ وجود داشته باشد، این بدین معنی است که پمپ باید در محلی پائین تر از سطح آب تشت برج قرار گیرد.



شکل2: مدار لوله کشی باز
Figure 2. Open Piping Circuit

این نیازمندی ها باعث شده که در انتخاب پمپ برای سامانه های باز **فشار استاستیک** نقش مهمی ایفاء کند. همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می کنید، هد مورد نیاز در این سامانه شامل افت فشار جریان لوله از نقطه A تا D به اضافه هد انرژی H_s برای هدایت و بالا بردن آب از پائین تر ین نقطه به بالاترین سطح می باشد.البته این مدار باز با مدار واقعی سامانه های باز کمی فرق دارد. این تفاوت در حقیقت در اتصال لوله دهش پمپ به **پخش کننده** آب در بالای برج است. البته در بعضی ازموارد این برج ها مجهز به افشانک نیز می باشند که می بایست نسبت به محاسبه این افت فشار اقدام و سپس نسبت به اضافه کردن آن در محاسبات پمپ اقدام نمود. در انتخاب پمپ در مدار باز پمپ می بایست بر افت های مختلفی مثل فشار جریان لوله کشی، افت در کندانسور، افت در برج و شیر آلات نیز اقدام کرد.



شکل 3:مدار لوله کشی یک نوع برج باز
Figure 3. Typical "Open" Tower Piping Circuit

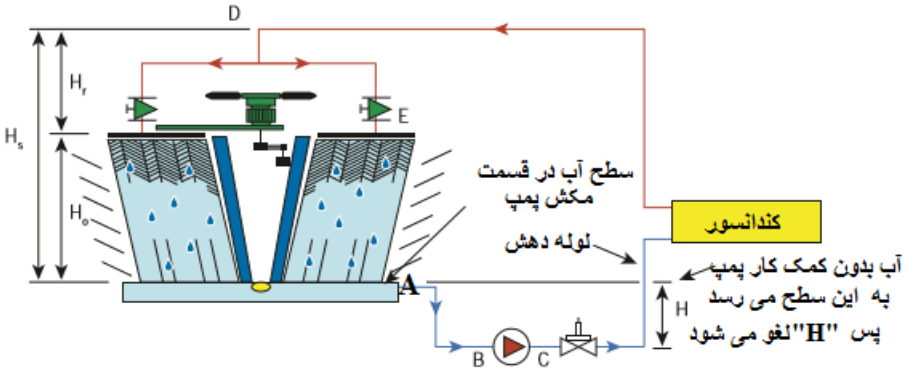
http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

نتیجه گیری مهم : مهم ترین نکته حائز اهمیت در لوله کشی سامانه های برج های **مدار با ز** تحلیل و بررسی صحیح هد استاتیک H_s می باشد.

در بیشتر مقالات در مبحث لوله کشی برج های **"مدار باز"** تمرکز در بدست آوردن صحیح فشار استاتیک است ، اما این فرضیه همیشه درست از آب در نمی آید ، چرا که دراین مقالات **فشار سیفونی** (Siphon Draw) در **لوله رو به پائین** در قسمت DE در نظر گرفته نمی شود.

فشار سیفون در لوله روی به پائین چیست (Downcomer Siphon Draw)

همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می کنید آب در نقطه E وارد برج می شود. فشار در نقطه D می بایست مساوی با افت فشاردر خروجی به اضافه افت اصطکاک جریان در مسیر لوله DE منهی کاهش فشار استاتیک بعلت ارتفاع **لوله رو به پائین برگشت** H_r می باشد. در نظر گرفتن کاهش فشار در نقطه D بعلت ارتفاع استاتیک H_r بسیار معمول است ، ولی همیشه اجازه در نظر نگرفتن H_r آن بعنوان یک قسمت از هد مورد نیاز پمپ ضروری نیست . این امر بخاطر جهت **برآیند** فشار سیفونی در **لوله رو به پائین** است.



شکل 3:مدار لوله کشی یک نوع برج باز

Figure 3. Typical "Open" Tower Piping Circuit

به فرض اینکه کشش سیفونی (Siphon Draw) در مدار این برج اتفاق می افتد ، هد مورد نیاز برای سامانه

$$\text{هد} = H_o + \Delta h(AE)$$

انتخاب هد بر اساس معادل فوق یک امر معمول است ولی در چند مورد محدودیت های نیز وجود دارد که می بایست نسبت به شناخت و درک آن اقدام کرد . افت خروج و افت اصطکاک جریان در **لوله رو به پائین** معمولا کمتر از **ارتفاع رو به پائین** H_r (Downcomer Hight) است . در این شرایط در صورت وقوع کشش سیفونی در **لوله رو به پائین** فشارآن می بایست در اتمسفریک قرار داشته باشد. در صورت شکسته شدن خلاء در **لوله رو به پائین** ، کشش سیفونی اتفاق نخواهد افتاد.

http://www.mohandes-iran.com

کشش سیفونی خلاء در **لوله رو به پائین** را می توان به سه روش از بین برد:

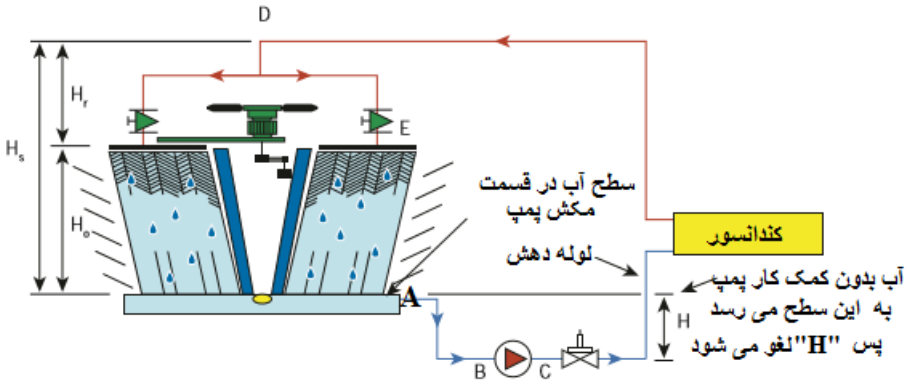
۱- تهویه در بالای **لوله روبه پائین**

۲- مناسب کردن نرخ جریان با ایجاد تهویه در پائین **لوله رو به پائین**

۳- ملاحضات در فشار بخار سیال و فلاش

تهویه در بالای لوله روبه پائین(Downcomer)

تهویه در بالای **لوله رو به پائین** باعث شکستن خلاء ایجاد شده توسط **مکش سیفونی** می شود. این ایجاد تهویه می تواند بصورت ساده یک **اتصال شل** در **لوله روبه پائین** و یا بصورت یک شیر هوا گیری در بالاترین نقطه بر روی **لوله رو به پائین** باشد. با نصب شیر هواگیر در بالای **لوله رو به پائین** به نظر می رسد که پمپ می بایست حالا آب را از تشتک برج تا بالاترین نقطه در **لوله رو به پائین** هدایت کند.



شکل 3:مدار لوله کشی یک نوع برج باز

Figure 3. Typical "Open" Tower Piping Circuit

با در نظر گرفتن D بعنوان این نقطه ، هد استاستیک پمپ می شود

$H_o + H_r$ یا H_s

در حقیقت هد کل پمپ در نقطه D مساویست با H_s به اضافه افت اصطکاک جریان در لوله از نقطه A تا D یعنی Δh (AD) . البته یک نکته در مورد برگشت در **لوله رو به پائین** می بایست در نظر گرفت و آن اینکه با توجه به صعود آب تا نقطه D، بهتر است به میزان H_r به عنوان غلبه بر افت اصطکاک در **لوله رو پائین** می بایست به هد اضافه کرد . در این شرایط دو وضعیت برای پمپ وجود خواهد داشت ، یا H_r بیشتر از میزان افت اصطکاک در **لوله رو پائین** Δh (DE) است و یا کمتر. در بیشتر موارد H_r بیشتر از Δh (DE) خواهد بود چرا که هد موجود H_r بر اساس و معادل ۱۰۰ ft/۱۰۰ft نرخ افت اصطکاک در لوله خواهد بود ولی افت اصطکاک جریان در **لوله رو به پائین** بطور معمول بر اساس ۱۰۰ft/ ۴ ft می باشد.

http://www.mohandes-iran.com

از آنجای که پمپ هد مورد نیاز در **لوله رو به پائین** را فراهم کرده است پس می توان نتیجه گرفت

$$H_r > \Delta h\ (DE)$$

در این شرایط بهتر است این افت اصطکاک را بعنوان قسمتی از هد مورد نیاز در نظر نگرفت ، در نتیجه

اگر : $H_r > \Delta h\ (DE)$

سپس می توان اینطور نتیجه گرفت

$$\text{هد پمپ} = Hs + \Delta h\ (AD)$$

افت فشار زیاد در **لوله رو به پائین** می تواند بعلت وجود شیر کنترل و یا یا افشانک باشد.

حال اگر این افت فشار به اضافه افت اصطکاک جریان در **لوله رو به پائین** بیشتر از H_r باشد.

اگر : $\Delta h\ (DE) > H_r$

آن وقت

$$\text{هد پمپ} = Hs + \Delta h\ (AD) + \{\Delta h\ (DE) - H_r\}$$

http://www.mohandes-iran.com

تهویه در پائین لوله روبه پائین

نرخ جریان در **لوله رو به پائین** نسبت به سایز لوله می تواند خیلی کم شود و همین امر باعث ورود هوا به خط دهش گردد. این شرایط باعث می شود که خود **لوله رو به پائین** به عنوان یک لوله تهویه عمل و باعث جلوگیری از ایجاد خلاء در مکش سیفونی گردد. آزمایش های انجام شده توسط بیل و گوست نشان می دهد کشش سیفونی در صورتیکه افت نرخ اصطکاک واقعی کمتر از ۱ فوت در هر ۱۰۰ فوت باشد (براساس تمیز بودن جداره لوله) اتفاق نمی افتد.

همانطور که در شکل ۴ ملاحظه می کنید پرُ بودن **لوله رو به پائین** و مجاورت آن با **فشار اتمسفریک** باعث عدم ورود هوا به لوله دهش در این نوع لوله کشی می شود. حداقل سرعت جریان باعث کشیدن هوا به طرف پائین لوله و در انتها باعث تخلیه هوا **از لوله رو به پائین** و ایجاد کشش سیفونی می شود. البته گاهی شرایط خاص اتفاق می افتد مثلا در هنگام شروع به کار پمپ با نرخ جریانی کمتر از ۱ فوت بر ثانیه حباب های هوا بطرف پائین حرکت نمی کنند در این شرایط **لوله رو به پائین** به هیچ عنوان به علت عدم تحقق کشش سیفونی از حباب هوا تخلیه نمی شود .

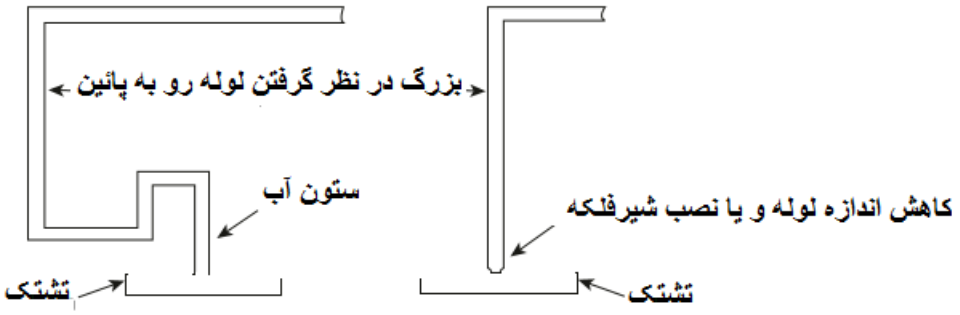


Figure 4. Water Leg or Reducer Help Establish Siphon Draw in Downcomer on Start-Up

برای ایجاد این شرایط بهتر است **لوله رو به پائین** را بصورت جداگانه با آب پر کرد ، این کار را می توان با نصب دو عدد شیر فلکه در قسمت خروجی کلکتور و نصب یک شیر فلکه در انتهای لوله هوا گیر بدست آورد (شکل ۵). در هنگام استارت شیرهای ۱ و ۲ در حالت بسته و شیر ۳ در حالت باز قرار دارند . پس از پر شدن لوله تهویه ، شیر فلکه ۳ تهویه را حالت بسته و دو شیر ۱و ۲ در حالت باز قرار دهید.

http://www.mohandes-iran.com

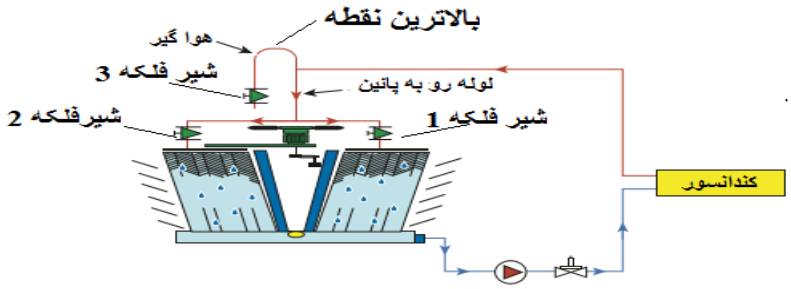


Figure 5. Exit Valve and Vent Permit "Start-Up" Fill of Downcomer Piping

می دانیم در صوت کاهش فشار بصورت محسوس هر سیالی شروع به تغییر فاز از جوش و سپس به بخار ختم می شود. لذا فشار سیال در به **لوله رو پائین** نمی بایست کمتر از فشاری باشد که در آن سیال به جوش می آید . همین فشار بخار محدودیت های را برای **کشش سیفونی** در سامانه بوجود می آورد. از نظر تئوری فشار استاتیک برگشت خیلی وابستگی به فشار بخار ، فشار جوش و ارتفاع از سطح دریا دارد. این تغییرات و تاثیرات با توجه به دماهای مختلف را می توانید در جدول زیر مشاهده کنید.

ارتفاع از سطح دریا به فوت Height Above Sea Level (ft)	Water Temperature (°F) دمای آب به (°F)						
	Cold	105	120	140	160	180	200
0	34.0	31.8	30.0	27.6	23.4	17.0	7.7
1,000	32.8	30.1	29.0	26.4	22.2	15.8	6.4
2,000	31.6	29.1	28.0	25.3	21.0	14.6	5.2
3,000	30.2	28.2	26.8	24.1	19.9	13.5	4.03
4,000	29.2	27.0	25.6	23.0	18.7	12.2	2.82
5,000	28.0	25.6	24.4	21.8	17.5	11.1	1.61
6,000	26.9	24.6	23.2	20.6	16.4	10.0	0.48
7,000	25.8	23.4	22.2	19.4	15.2	8.8	—
8,000	24.6	22.2	21.0	18.2	14.0	7.6	—
9,000	23.4	21.1	19.8	17.1	12.9	6.4	—
10,000	22.2	19.9	18.6	15.9	11.7	5.2	—

Table 1: Maximum Theoretical Downcomer Return Cancelable Static Height (In Ft) Because of Siphon Draw - Water Only

http://www.mohandes-iran.com

مسئله

همانطور که شکل ۶ ملاحظه می کنید ، این سامانه در ارتفارع ۶۰۰۰ فوت (۱۸۲۸متر) بالاتر از سطح دریا قرار دارد . این سامانه برای دفع حرارت °F ۱۸۰(۸۲° C) طراحی شده است ، هد پمپ را محاسبه کنید.

حل:

با مراجعه به جدول ۱ **ارتفاع کشش سیفونی** برای ارتفاع ۶۰۰۰ فوت و دمای ۱۸۰ فانهایت ۱۰ فوت است ، در شرایطی که **ارتفاع استاتیگ برگشت** در این سامانه ۳۰ ft = H_r می باشد.

ارتفاع از سطح دریا به فوت Height Above Sea Level (ft)	Water Temperature (°F) دمای آب به (°F)						
	Cold	105	120	140	160	180	200
0	34.0	31.8	30.0	27.6	23.4	17.0	7.7
1,000	32.8	30.1	29.0	26.4	22.2	15.8	6.4
2,000	31.6	29.1	28.0	25.3	21.0	14.6	5.2
3,000	30.2	28.2	26.8	24.1	19.9	13.5	4.03
4,000	29.2	27.0	25.6	23.0	18.7	12.2	2.82
5,000	28.0	25.6	24.4	21.8	17.5	11.1	1.61
6,000	26.9	24.6	23.2	20.6	16.4	10.0	0.48
7,000	25.8	23.4	22.2	19.4	15.2	8.8	—
8,000	24.6	22.2	21.0	18.2	14.0	7.6	—
9,000	23.4	21.1	19.8	17.1	12.9	6.4	—
10,000	22.2	19.9	18.6	15.9	11.7	5.2	—

Table 1: Maximum Theoretical Downcomer Return Cancelable Static Height (In Ft) Because of Siphon Draw - Water Only

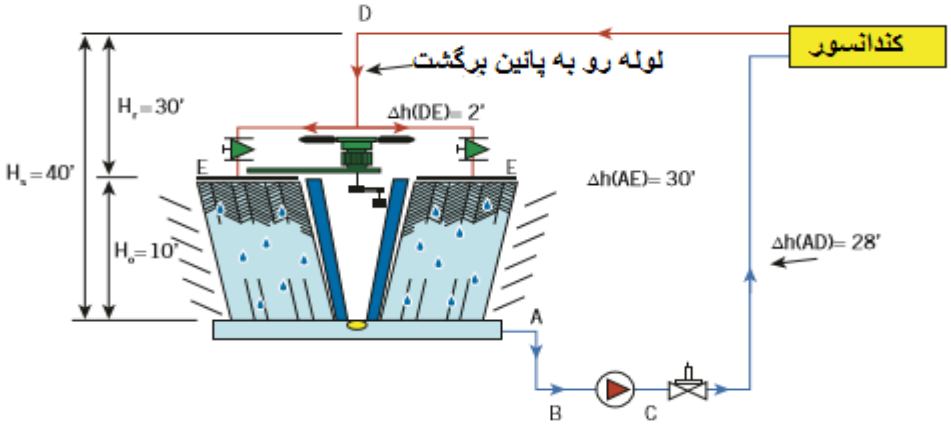


Figure 6. Example Problem

اگر بخواهیم بطور معمول هد را محاسبه کنیم

هد غلط = $\Delta h\ (AE) + H_o$

= 30 ft + 10 ft

= 40ft

همانطور که ملاحظه می کنید مطمئا انتخاب این پمپ یک انتخاب پمپ با نرخ جریان کم در هنگام استارت می باشد ، که هد آن فقط مناسب برای هدایت آب تا بالای سامانه

http://www.mohandes-iran.com

می باشد. در این شرایط نرخ جریان در حالت استارت خیلی نا چیز خواهد بود. با در نظر گرفتن تمام نکات احتیاطی به نظر می رسد که این پمپ نمی تواند خوب کار کند ، چرا که تبدیل آنی آب به بخار در **لوله رو به پائین** باعث عدم تشکیل **هد کشش سیفونی** بفرض ۳۰ ft می شود . در این شرایط تبخیر آب بعلت **بیشتر** بودن میزان **ارتفاع استاتیک برگشت** در **لوله رو پائین** نسبت به **هد کشش سیفونی** می باشد (با مراجعه به جدول ۱ : ارتفاع ۶۰۰۰ فوت و دمای ۱۸۰ **ارتفاع استاتیک برگشت** ۱۰ ft). زمانی که ارتفاع برگشت در **لوله رو به پائین** بیشتر از هد کشش سیفونی خنثی کننده می شود نیاز است که بطور جداگانه شرایط **لوله رو به پائین** را بررسی کرد . در این شرایط مجموع ارتفاع استاتیک کشش سیفونی خنثی و یا لغو کننده به اضافه افت جریان اصطکاک در **لوله رو به پائین** می بایست بیشتر از ارتفاع برگشت **لوله رو به پائین** باشد . این افزایش باعث جلوگیری از تبدیل آنی آب به بخار می شود. افت جریان اصطکاک در **لوله رو به پائین** معمولا بعلت وجود **شیر های بالانس** در حالت بسته در خروجی E می باشد. این شیر می تواند رائه دهند **فشار برگشت** (Back Pressure) جهت حفظ فشار در بالاتر از فشاری باشد که احتمال جوش و یا بخار شدن آب وجود دارد . برای مسئله فوق بهتر است افت فشار در این ۲۳ ft و در **لوله رو به پائین** ۲ft در نظر بگیریم (جمع افت فشار در **لوله رو به پائین** ۲۵ = ۲ + ۲۳) .

حال نسبت به اضافه کردن این افت فشار به ارتفاع خنثی کننده از نظر تئوری (از جدول اقدام می کنیم.

$$۲۵ft + ۱۰ft = ۳۵\ ft$$

این یعنی ۵ فوت بیشتر ازارتفاع استاتیک H_r $(H_r = ۳۰ft)$

حال می توانیم تصحیح هد اینطور نوشت :

$$\text{هد پمپ} = \Delta h\ (\text{AD لوله}) + \Delta h\ (\text{DE لوله}) + \Delta h\ (\text{شیر فلکه}) + H_o$$
$$= ۲۸\ ft + ۲\ ft + ۲۳\ ft + ۱۰\ ft$$
$$= ۶۳ft$$

البته راه حل دیگر و ساده ای برای این مسئله وجود و آن ایجاد تهویه ای در نقطه D می باشد. این امر باعث حذف شیر متعادل کننده در **لوله رو به پائین** و تنظیمات آن می شود . در این شرایط هد مورد نیاز

$$\text{هد پمپ} = \Delta h\ (\text{AD لوله}) + H_o + H_r$$
$$= ۲۸\ ft + ۱۰\ ft + ۳۰ft$$
$$= ۶۸ft$$

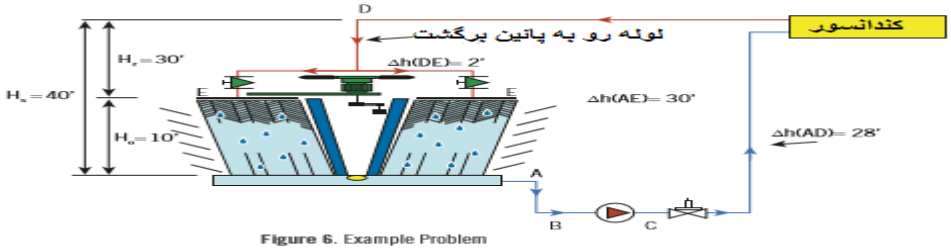
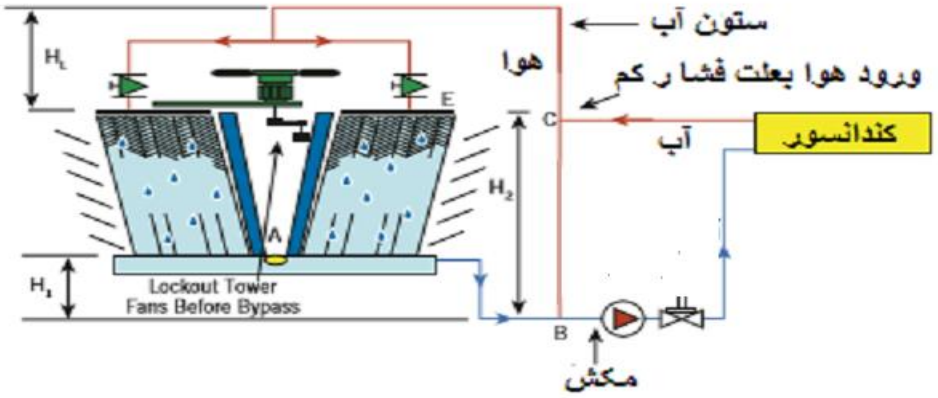


Figure 6. Example Problem

http://www.mohandes-iran.com

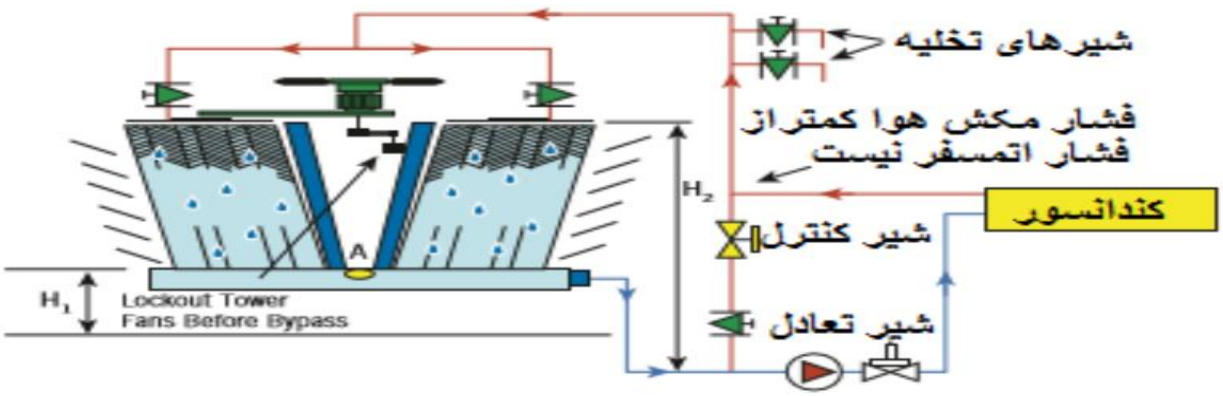
کنار گذر برج در خط مکش

نامناسب و طراحی غلط در **مسیر کنار گذر** و اتصال دادن آن به خط مکش پمپ می تواند باعث کشیده شدن هوا به مقدار زیاد به داخل خط مکش پمپ گردد. در هنگام فعال بودن مسیر کنارگذر در صورت کاهش فشار در قسمت اتصال لوله دهش به کنار گذر ، **هوا** به داخل قسمت مکش پمپ کشیده می شود. همانطور که در شکل ملاحظه می کنید زمانی که سامانه در حالت کاملا باز کنارگذر (Bypass) قرار دارد ، فشار در نقطه B بی شک بالاتر از فشار اتمسفر خواهد بود و میزان آن نیز بستگی به فشار استاستیک H_1 دارد ، اما در نقطه C فشار کمتر از فشار اتمسفر قرار دارد و همین امر باعث مکش هوا به داخل پمپ می شود ، مگر اینکه فشار استاستیک بعلت ارتفاع H_2 کاهش و خنثی گردد. این کاهش می بایست مساوی و یا بیشتر از میزان افت فشارجریان در **خط کنار گذر** باشد.

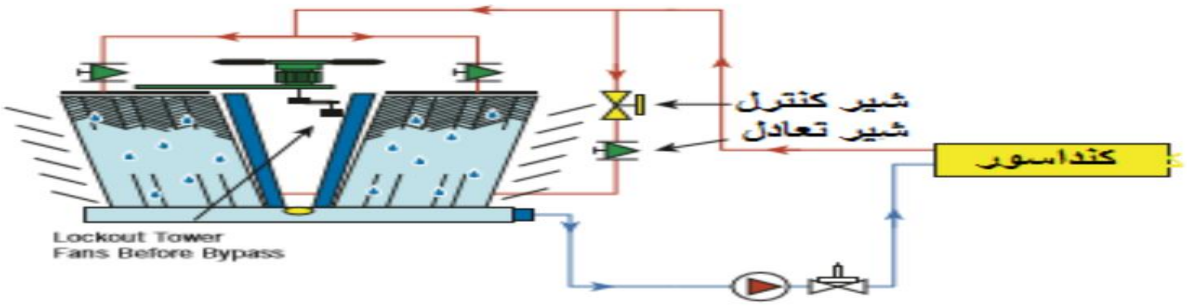


http://www.mohandes-iran.com

برای مقابله با این پدیده می بایست نسبت به طراحی و نصب یک شیر کنترل در مسیر کنار گذر جهت ایجاد افت فشار اقدام نمود. این کار باعث جلوگیری از افت فشاری کمتر از فشار اتمسفریک در نقطه C می گردد. در حقیقت این کار باعث ارتفاع یافتن آب در مسیر **لوله ستون آب** (Water Leg) در هنگام قرار گرفتن برج در حالت **کنارگذر** و یا **بای پس** می گردد. شرایط مطلوب زمانی اتفاع می افتد که نسبت به نصب همزمان و با هم یک **شیر کنترل** و یک **شیر متعادل کننده** (Balance Valve) اقدام کرد . این تدبیر باعث می شود فشار برگشت در لوله کنار گذر باعث افرایش ارتفاع آب در ستون آب (Water Leg) تا نقطه شیرهای تخلیه گردد. ما استفاده از این روش پیچیده را به طراحان پیشنهاد نمی کنیم .



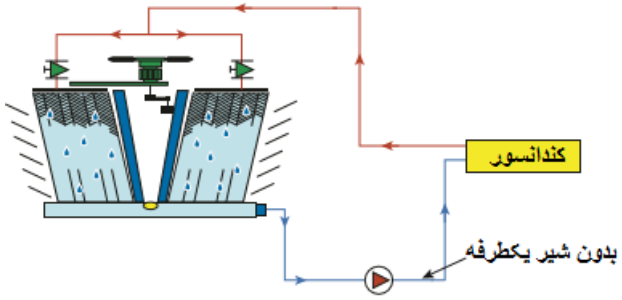
بلکه هدایت مسیر لوله کنار گذر به داخل تشت برج از این پیچیدگی کاسته و باعث رفع کامل ورود هوا به داخل مکش پمپ می شود ما این روش را به تمام طراحان و نصاب ها پیشنهاد می کنیم .



http://www.mohandes-iran.com

تخلیه تشتک در هنگام شروع بکار پمپ(استارت)

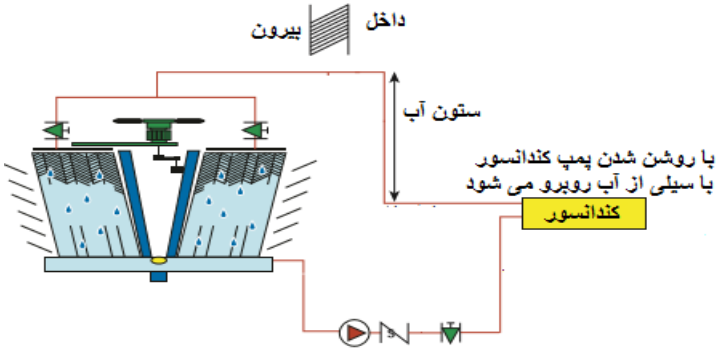
معمولا حجم بسیاری از تشتک های برج های خنک کننده ها مناسب برای حفظ سطح آب بعد از پر کردن حجم خالی لوله های کندانسور نیستند . این نوع برج ها در هنگام **استارت** خوردن پمپ ، می تواند باعث خشک شدن کامل تشتک و یا کاهش شدید سطح آب و در نتیجه ایجاد **گردآب** در لوله خروجی تشتک شوند. در هر دو پدیده هوا بطرف مکش پمپ هدایت و کشیده می شود. این ورود هوا به داخل پمپ می تواند برای پمپ فاجعه به بارآورد . همانطور که در شکل ۱۰ ملاحظه می کنید پمپ می بایست نسبت به پر کردن تمام حجم لوله های کندانسور و مسیر لوله برگشت در هنگام روشن شدن (استارت) اقدام کند. این حرکت سیلابی مکش آب از داخل تشتک باعث تخلیه کامل و در نتیجه ورود هوای ناخواسته به داخل پمپ می گردد.



شکل :10 لوله کشی غلط

Figure 10. Tower Piping and Condenser Drains into and Overflows Pan on Pump Shut-Down - **WRONG**

اما همانطور که در شکل ۱۱ ملاحظه می کنید می توان با نصب یک **شیر یکطرفه** نسبت به رفع این مشکل اقدام کرد . پر بودن قسمت **ستون آب** (Water Leg) از آب باعث بهمراه یک شیر یکطرفه باعث عدم تخلیه آب از قسمت لوله افقی و برگشت آن به تشتک برج می شود.

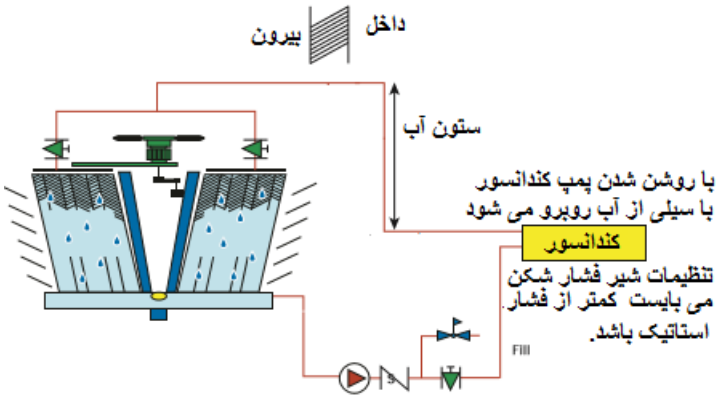


شکل :11 لوله کش

Figure 11. Check, Water Leg and Fill Prevent Piping to Tower Drainage - **RIGHT**

http://www.mohandes-iran.com

بعنوان یک اصل ، سامانه لوله کشی برج های خنک کننده می بایست مجهز به یک خط پرکن باشند ولی بهترین محل یک نقطه در نزدیکی و بعد از خروجی شیر یکطرفه می باشد ، شکل 11A را ملاحظه کنید .



شکل:11A

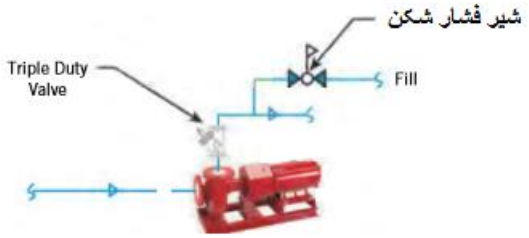
Check, Water Leg and Fill Prevent Piping to Tower Drainage - **RIGHT**

http://www.mohandes-iran.com

این **پر کن** دو کار مهم را انجام می دهد

۱- پر کردن لوله های کندانسور بدون هر گونه وابستگی به حجم آب در تشتک برج و همچنین عدم تخلیه اولیه در سامانه لوله کشی در هنگام استارت پمپ .

۲- این نکته بسیار حائز اهمیت است که در هنگام استارت چیلر ، کندانسور پر از آب باشد. از آنجای که در مواردی ما شاهد این هستیم که کندانسور در بالاتر از سطح آب در تشتک برج نصب می شود ، این روش باعث اطمینان یافتن از پر بودن کندانسور می گردد. برای بهبود دادن بیشتر این سامانه می توان نسبت به نصب یک پرکن خودکار بهمراه یک شیر فشار شکن (Pressure Reducing Valve) نیز اقدام کرد. این شیر می بایست طوری تنظیم گردد که به هر نوع کاهش سطح آب در بالاترین نقطه لوله کشی نسبت به تزریق آب به سامانه اقدام کند. نصب شیر فشار شکن همچنین باعث حفاظت بیشتر سامانه در مقابل تخلیه معکوس و یا نشتی های احتمالی در شیر یکطرفه می گردد(شکل :11B)



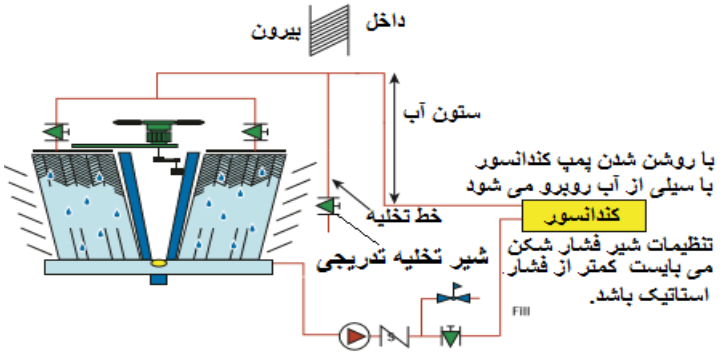
شکل:11B

Location of Fill Valve with a Multi-Purpose Valve-Reference

http://www.mohandes-iran.com

شیرهای تخلیه تدریجی (Bleed Blow Down Valve)

می دانیم در برج های خنک کننده بطور مرتب آب در داخل تشتک آن تبخیر می شود ، این تبخیر باعث افزایش غلظت مواد در آب و ایجاد مشکلات فراوان در سامانه می شود. با استفاده از این نوع شیر بخشی از آب در داخل تشتک و خط لوله که غلظت آن افزایش یافته از سامانه خارج و بجای آن آب تازه و سخت گیر شده جایگذین می شود ، لذا نصب شیر تخلیه تدریجی شکل :11C در زیر خط لوله افقی برگشت امری بسیار مهم در یک سامانه لوله کشی برج است . همانطور که شکل ملاحظه می کنید این شیر را بهتر است در بالاترین نقطه و یا خط لوله افقی برگشت نصب کرد.

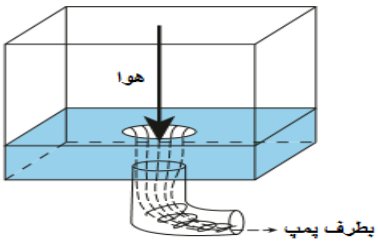


شکل:11C

Check, Water Leg and Fill Prevent Piping to Tower Drainage - **RIGHT**

گرداب در برج

حل کردن مشکل تخلیه برگشت (Back Drainag) بدین معنی نیست که تمام مشکلات ورود هوا به داخل مکش پمپ حل خواهد شده . تشکیل گرداب در لوله خروجی تشتک برج بعلت پائین بودن سطح آب در نتیجه کاهش نرخ جریان در آن می تواند همچنان باعث ورود ناخواسته هوا به داخل قسمت مکش پمپ شود. تولید کننده های برج معمولا جهت رفع این عیب اقدام به نصب و یا ارائه گرداب شکن می کنند.

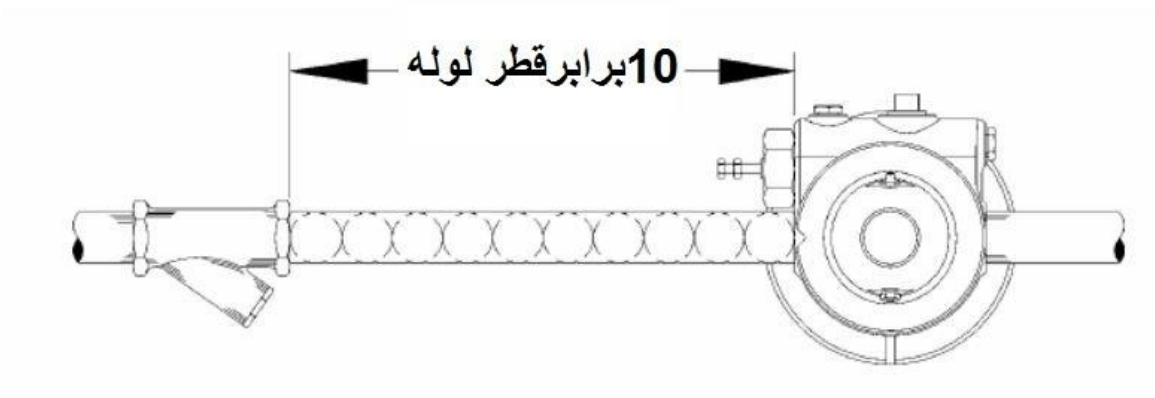


شکل:12 گرداب در برج

Figure 12. Tower Vortexing

http://www.mohandes-iran.com

در بعضی از موارد اندازه دهانه مکش پمپ خیلی کوچکتر از دهانه لوله خروجی تشتک می باشد ، این اتفاق باعث افزایش بیش از حد سرعت آب در پمپ می شود، این افزایش سرعت نیز باعث ایجاد گرداب در دهانه خروجی تشتک می گردد.
جهت جلوگیری از پدیده بهتر طول لوله خروجی از تشتک قبل از تبدیل کردن برای اتصال به پمپ حداقل ۱۰ برابر قطر لوله خروجی از تشتک باشد.
نکته: مهندسین محترم می داند که افزایش سرعت باعث کاهش فشار و در نتیجه ایجاد کاویتاسیون می گردد.



کاویتاسیون و علت آن

کاویتاسیون در لغت از کلمه Cavity به معنای حفره آمده و منظور از کاویتاسیون ایجاد حفره یا حفره زائی است. در صورت وقوع این پدیده در پمپ یکی از خسارات آن ایجاد خوردگی و حفره بر روی بدنه پروانه، پوسته پمپ ، و یا لوله و اتصالات انتقال سیال می باشد. قبل از توضیح پدیده کاویتاسیون لازم است اشاره ای به نقطعه جوش و فشار بخار مایعات داشته باشیم . نقطه جوش مایعات به فشاری که بر روی مایع قرار دارد بستگی دارد، یعنی تمام سیالات در نسبت و ارتباط مستقیم بین فشار و دما بجوش می آیند.
مثلا آب در فشار یک اتمسفر در دمای ۱۰۰C می جوشد که این دما در فشار ۰/۵ اتمسفر حدود ۸۰C است. ممکن است در داخل پمپ و یا لوله انتقال سیال شرایطی فراهم گردد بطوری که در دمای موجود با توجه به کاهش فشاری که ایجاد شده، سیال موجود در سامانه بجوش آید. تبدیل مایع به بخار همواره با افزایش حجم ناگهانی بصورت حباب می باشد(دانسیته مایع بیشتر از ۱۰۰۰ برابر دانسیته بخار در این شرایط است) حباب های ایجاد شده با سرعت زیاد به جلو هدایت می شود ، حال در صورت افزایش فشار سیال در قسمتی از پمپ و یا لوله انتقال سیال شرایط اشباع بخار حباب به حالت مایع فشرده بر

http://www.mohandes-iran.com

می گردد لذا طی فرایدی پیچیده که در بخش های در پیش رو بدان بیشتر اشاره خواهیم کرد این حباب های بخار سقوط کرده و ضمن تقطیر شدن با سرعت بسیار زیاد (تا ۱۰۰۰m/s) به اطراف برخورد می کند. قطرات سیال که با این سرعت به اطراف برخورد می کنند ، دارای ممنتوم بسیار بالای هستند بطوریکه نیروی وارد شده از طرف این ذرات بر دیواره پروانه و یا لوله قادراند قسمت های از بدنه پروانه و لوله را کنده یا بر روی آن حفره ایجاد کند. این پدیده با ایجاد ارتعاشاتی با فرکانس حدود ۲۰khz همراه می باشد. این پدیده همواره با ایجاد سر و صدا نیز همراه است که فرکانس آن به ۱MHZ نیز می رسد. به این صداها اصطلاحا **صدای سفید** گفته می شود ، لذا در بسیاری از موارد می توان از طریق اندازه گیری فرکانس این صداها به پدیده کاویتاسیون در سامانه پی برد. این پدیده می تواند مشکلات فراوانی ازجمله

الف – صدمه دیدن پروانه پمپ

ب - تغییر منحنی پمپ بصورت خیلی تند و تیز بدون امکان پیش بینی نقطه آن در منحی گردد.

پ - کاویتاسیون باعث جدا شدن جرمی از قطعات داخلی پمپ می شود ، این امر می تواند موجب ضربه دیدن قطعات پمپ توسط این اجرم جدا شده شوند.

ت – شکسته شدن شفت پمپ بخاطر ضربات شدید در پروانه

ث – از آبندی افتادن سیل مکانیکی پمپ . می دانیم عملکرد صحیح سیل های مکانیکی وابستگی شدید به شرایط تحمل ناپذیری آنها بر مقدار بخار در اطراف سیل دارد که این بخار باعث خشک کار کردن سیل می شود.

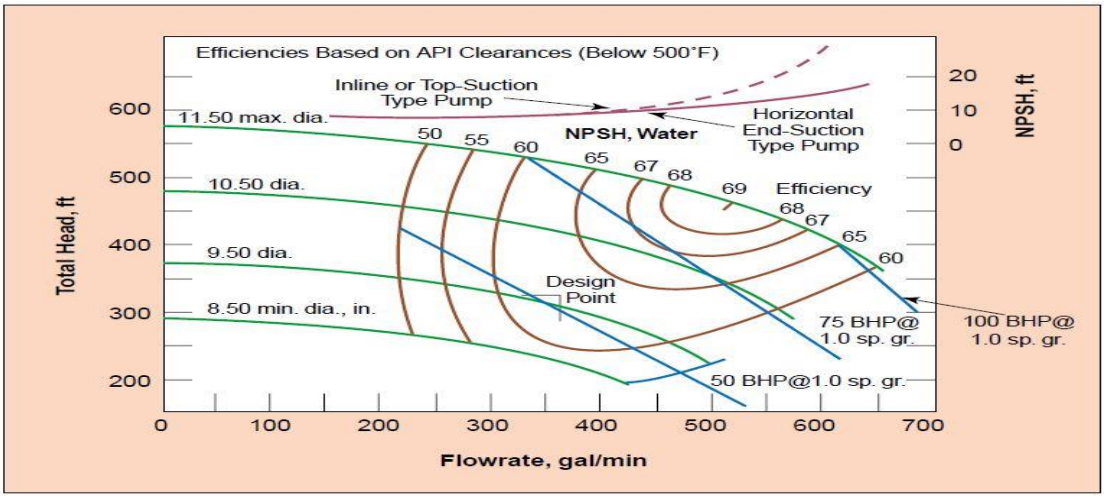
جهت رسیدن به شرایط ایده آل پمپ بهتر است مهندسین محترم نسبت به بررسی دقیق منحنی پمپ اقدام کنند.

http://www.mohandes-iran.com

بررسی منحنی عملکرد پمپ

نشان دادن شرایط کاری یک پمپ توسط معادلات ریاضی ، در هنگام استفاده عملی از پمپ برای بسیاری بهره برداران پمپ تولید اشکال می کند. به همین دلیل سازندگان پمپ کلیه مشخصات پمپ را بر روی یک منحنی ارائه می دهند تا استفاده از آن برای همه راحت تر و عملی تر گردد.

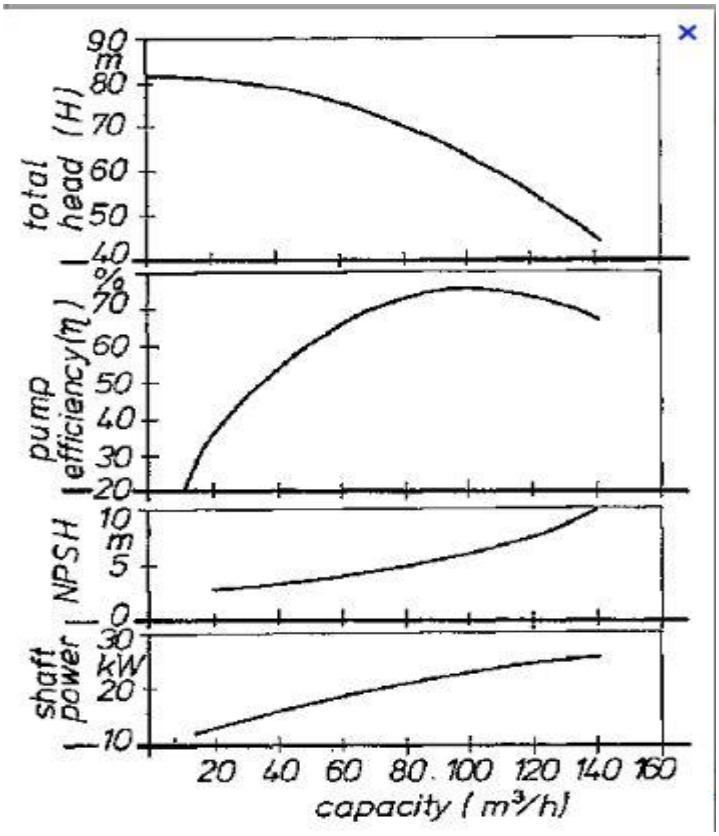
نمودار های مقدار **جریان- ارتفاع** که به **نمودار عملکرد پمپ** شهرت دارد ابزار مناسب و ساده برای بررسی چگونگی کارکرد پمپ است. ارتفاع پمپ با مقدار دبی آنها رابطه دارد. این رابطه را می توان از روی منحنی پمپ بدست آورد. شکل زیر یک نمونه از منحنی های پمپ را نشان می دهد، در این منحنی مقدار جریان بر محور x و ارتفاع بر روی محور y قرارداده شده است.

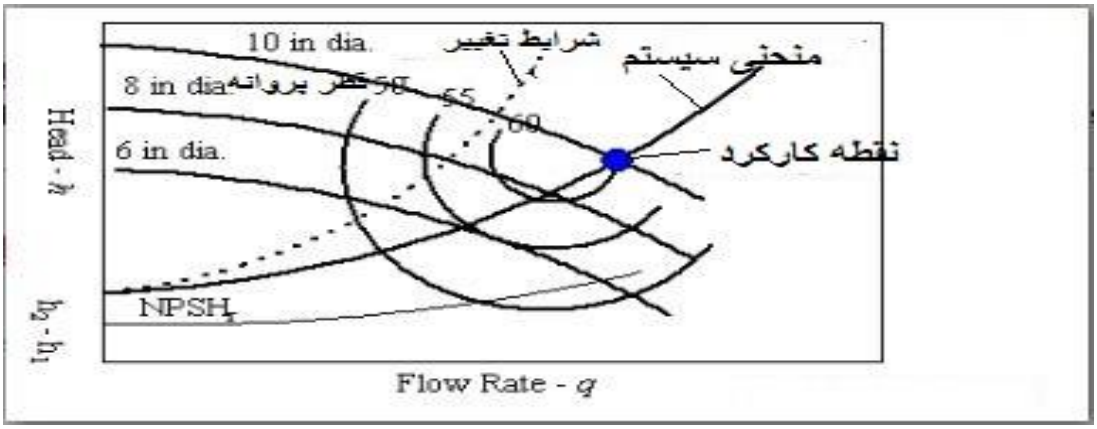


روی این منحنی غالبا منحنی های راندمان ، قدرت و NPSHr(مورد نیاز) نیز وجود دارد. منحنی عملکرد پمپ برای یک جریان ثابت و یک دور معین رسم می شود.در این نوع منحنی قطر پروانه نیز مشخص می گردد. منحنی عملکرد پمپ در کارخانه و با استفاده از دینامومتر و اندازه گیری های دقیق مشخص می شود.

آزمایشات استاندارد شده در امریکا مطابق ضوابط انستیتو هدرولیک می باشند. البته در عمل نوسانات ولتاژ اغلب تاثیر خود را برروی منحنی خواهد داشت در نتیجه نقاط آن قدری پس و پیش دارد.

http://www.mohandes-iran.com





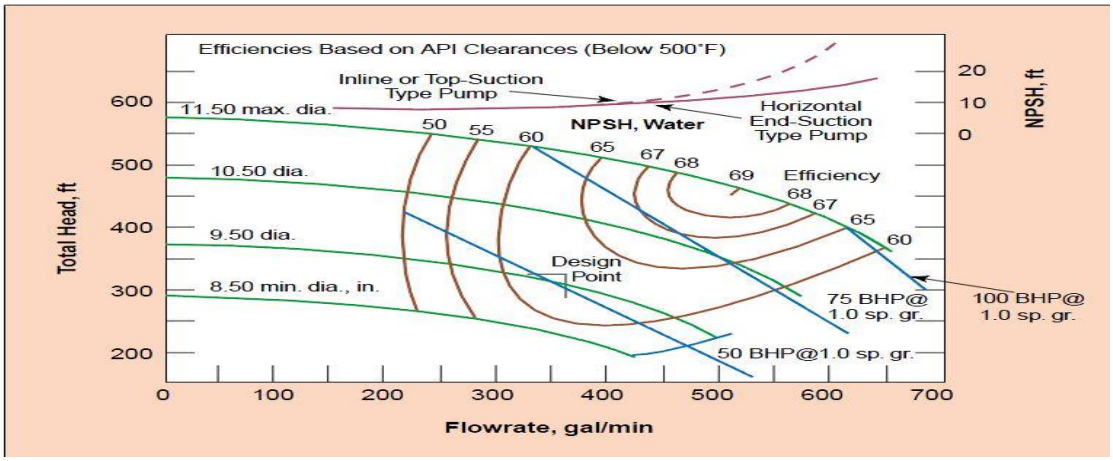
اما NPSH

درک و نقش **NPSH** در هنگام و نصب و کارکرد پمپ بسیار مهم است.این مطلب را همیشه بخاطر بسپارید که **پمپ ها فقط مایعات را پمپاز می کنند و نه بخار(گاز)**. عملکرد صحیح پمپ های **گریز از مرکز** شدیدا به این امر بستگی دارد که بخار در سامانه وجود نداشته باشد.این امر بسیار مهم است چرا که بعنوان مثال ۱ فوت مکعب آب در دمای اطاق می تواند به ۱۷۰۰ فوت در همین دما با کاهش فشار افزایش حجم پیدا کنند (با تبدیل به بخارشدن) .

http://www.mohandes-iran.com

NPSH در حقیقت **هد کل** (**فقط**) درقسمت **مکش** تا فلنج ورودی پمپ منها **فشار بخار** (البته بصورت ارتفاع) است. در حقیقت NPSH را می بایست بدو بخش NPSHr و NPSHA که جنبه کاربردی دارند تقسیم کرد. **حداقل** فشار مثبت مکشی که بایستی در ورودی پمپ وجود داشته باشد تا پمپ بتواند بدون کاویتاسیون کار کند را **ارتفاع مثبت خالص مکش لازم** (Required Net positive Suction Head) می گویند ، که به اختصار RNPSH ویا NPSHr نیز می نویسند. با توجه مطالب فوق به نظر می رسد در مورد فشار و درجه آب ورودی به پمپ های گریز از مرکز باید دقت خاصی مبذول داشت، بویژه در برج های خنک کننده .

NPSHr (ارتفاع مثبت خالص مکش **لازم**) نقش مهم و اساسي را در انتخاب پمپهايي كه درجه حرارت مايع ورودي به آنها بالاست ايفا مي كند . در واقع يك سيال زماني تبخير خواهد شد كه، يا **فشار** آن خيلي كاهش و يا **دماي** آن خيلي افزايش يابد . به تعبیری NPSHr به **حداقل** ميزان فشاري اطلاق مي گردد كه براي جلوگيري از پديده كاويتاسيون ، مورد نياز است . به منظور ممانعت از بروز پديده كاويتاسيون ، فشار سيستم مي بايست همواره در تمامي مراحل مكش ، ورود به پروانه و تخليه ، می بایست بالاتر از **فشار بخار مایع** در درجه حرارت كاري باشد . بنابر این برای تحلیل شرایط بروز این پدیده در **پمپ های گریز از مرکز** لازم است که شرایط قسمت مکش پمپ از نظر فشار(ارتفاع) و همچنین مشخصه های پمپ از نظر وجود کمترین شریط مورد نیاز برای جلوگیری از بروز پدیده **کاویتاسیون** مورد بررسی قرار گیرد.این فشار مكش به مشخصات طراحي پمپ بستگي دارد و مقدار آن توسط سازنده بر روي منحني عملكرد پمپ ارائه مي شود .



http://www.mohandes-iran.com

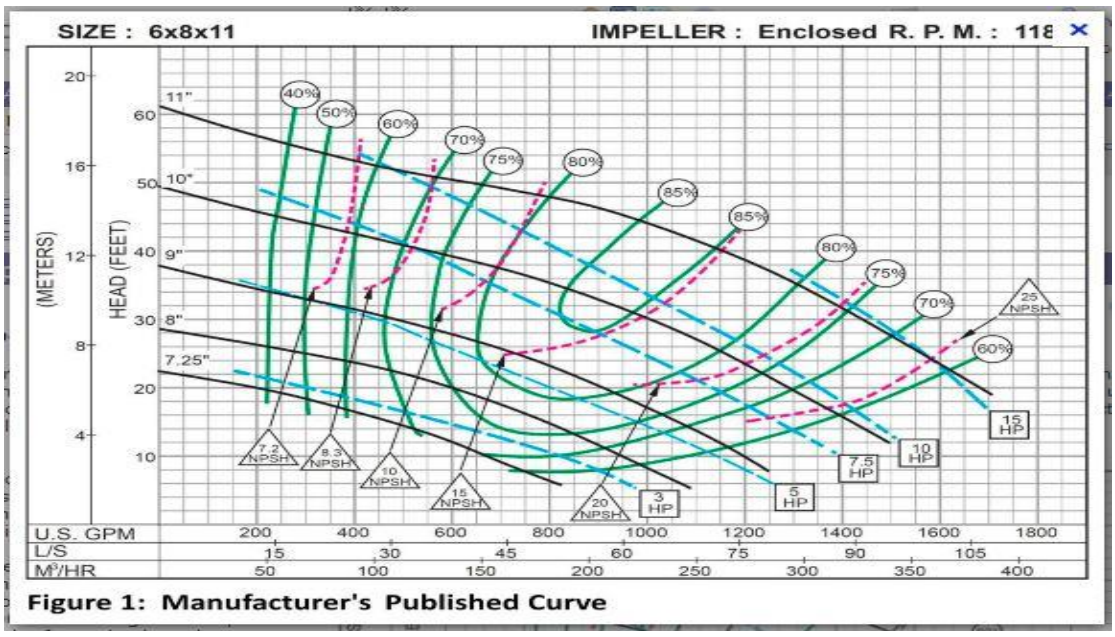


Figure 1: Manufacturer's Published Curve

در مواردی که پمپ، مایعات داغ را پمپاژ می کند و یا مایع را به سمت بالا مکش می شود NPSHr از اهمیت **بیشتری** برخوردار است.NPSHr درحقیقت ابزاری برای جلوگیری از تبخیر شدن سیال است .تولیدکنندگان پمپ معمولا پمپ را با ظرفیت های مختلف با مقدار بسته شدن شیردر قسمت مکش آزمایش می کنند. با اولین نشانه تبخیر شدن سیال، که منجر به پدیده کاویتاسیون میشود این فشار ودیگر فشارهای بدست آمد ه ، پس از تبدیل به **ارتفاع** جهت رسم منحنی NPSHr مورد استفاده قرار می گیرند.

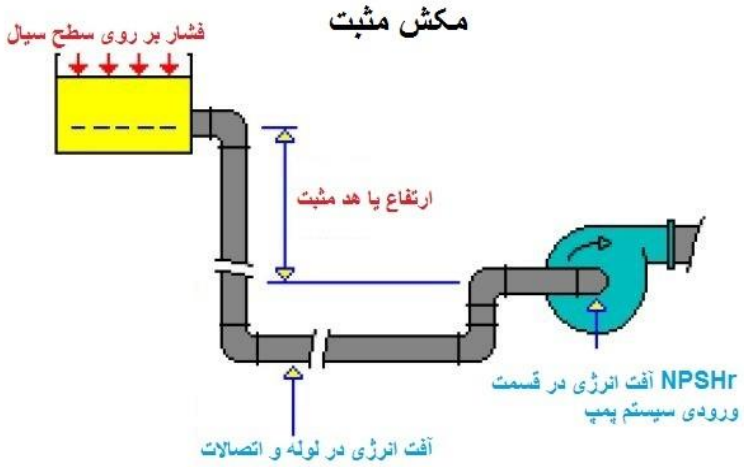
اما معمولا **فشار خالص مثبت مکش** در ورودی پمپ در بسیاری از مورد بیشتر، کمتر یا گاهی مساوی NPSHr است. به این فشار NPSHA (**A**vailable Net Positive Suction head) یا فشارخالص مثبت مکش **موجود** می گویند. به تعبیری NPSH A عبارت است از مقدار **مازاد انرژی** مفید نسبت به فشار بخار در ورودی پمپ .

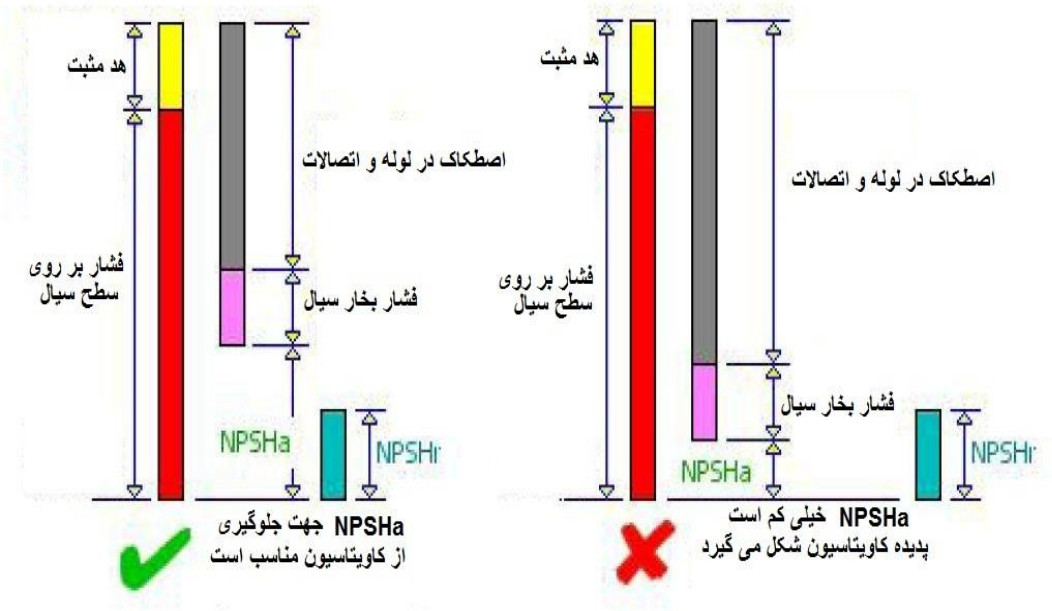
این فشار از مشخصه های سامانه لوله کشی سامانه است. این فشار بستگی به ارتفاع مخزنی که پمپ از آن مکش می نماد تا ورودی پمپ ، افت استاتیکی در لوله و فشار بخار آب دارد.

نکته : فشار خالص مثبت مکش موجود NPSHa در ورودی پمپ بایست حداقل برابر فشارخالص مثبت مکش لازم NPSHr باشد تا پمپ بتواند بدون وقوع کاو یتاسیون کار کند.

http://www.mohandes-iran.com

برای درک بهتر بین NPSHr و NPSHa در یک سامانه **مکش مثبت** به شکل های زیر دقت کنید.





از روی شکل می توان نوشت

NPSHa=هد مثبت+ فشاربر روی سیال - اصطکاک در لوله و اتصالات - فشاربخار سیال

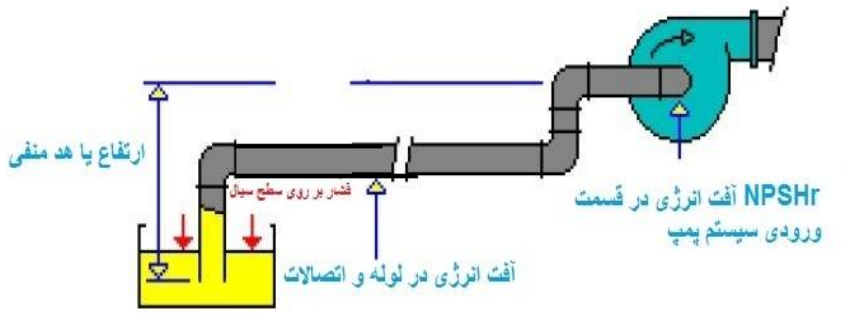
یا

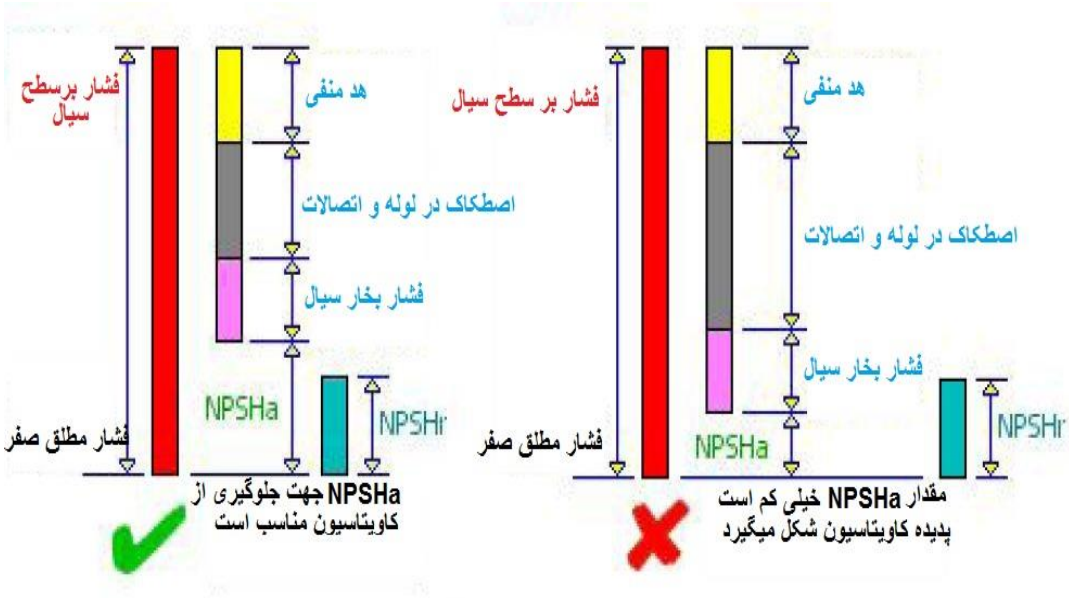
$$NPSHa = +Hs+HA-h_L- Hv$$

http://www.mohandes-iran.com

برای درک بین NPSHr و NPSHa در یک سامانه **مکش منفی** به شکل های زیر دقت کنید.

مکش منفی





از روی شکل می توان نوشت

فشاربخار سیال - اصطکاک در لوله و اتصالات - هد منفی- فشاربر روی سیال =NPSHa

یا

$$NPSHa = H_A - H_s - h_L - H_v$$

http://www.mohandes-iran.com

بخش دوم

روش محاسبهNPSHr (NPSHلازم)

نکته:

با داشتن (هر کدام) هد یا دبی مورد نیاز ومنحنی پمپ می توانید مقدار NPSHr را از روی منحنی پمپ مورد نظر بدست آورید.

یا

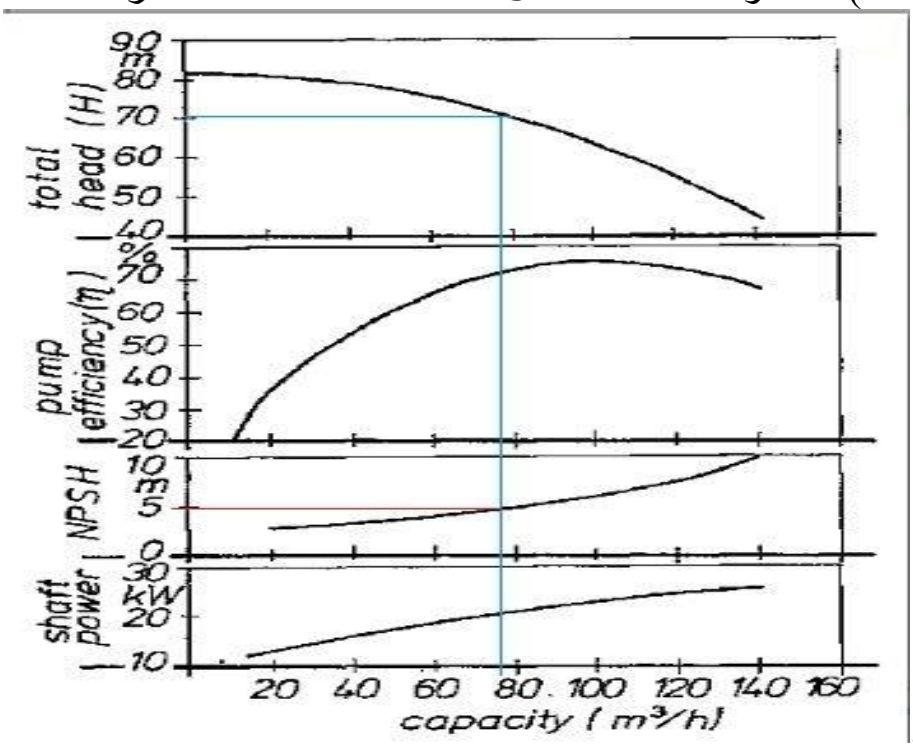
با محاسبه هد و دبی مورد نظر می توانید منحتی پمپ مورد تظر خود را انتخاب و سپس از روی محنی پمپ بر اساس هد و دبی مقدار NPSHr از روی محنی NPSH پیدا کنید

مسئله:

اگر دبی ۷۵ متر مکعب در ساعت باشد NPSHr را بدست آورید.

بفرض که منحنی پمپ مورد نظر شکل زیر است

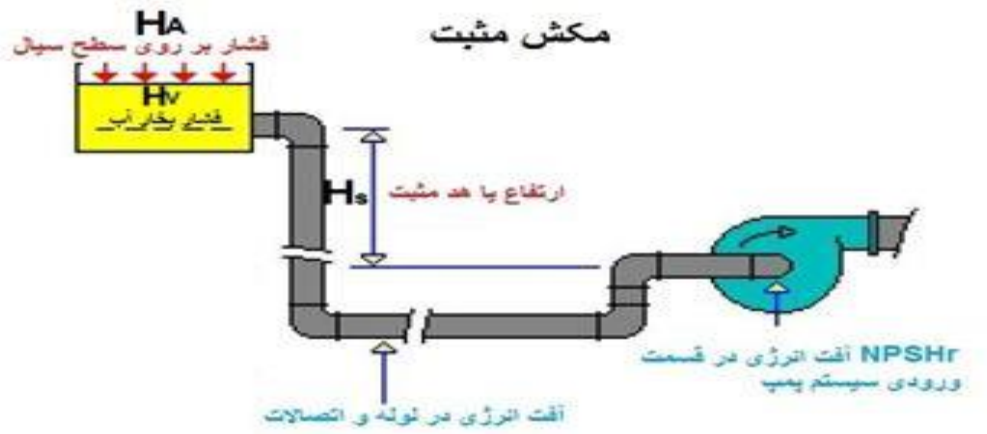
حل: پیدا کردن مقدار NPSHr فقط از روی منحنی پمپ امکان پذیر است . همانطور که ملاحظه می کنید با امتداد دادن مقدار $75\ m^3$ به طرف منحنی هد می توانید مقدار هد مورد نیاز (۷۰m) و NPSHr ۵ متر بدست می آید.



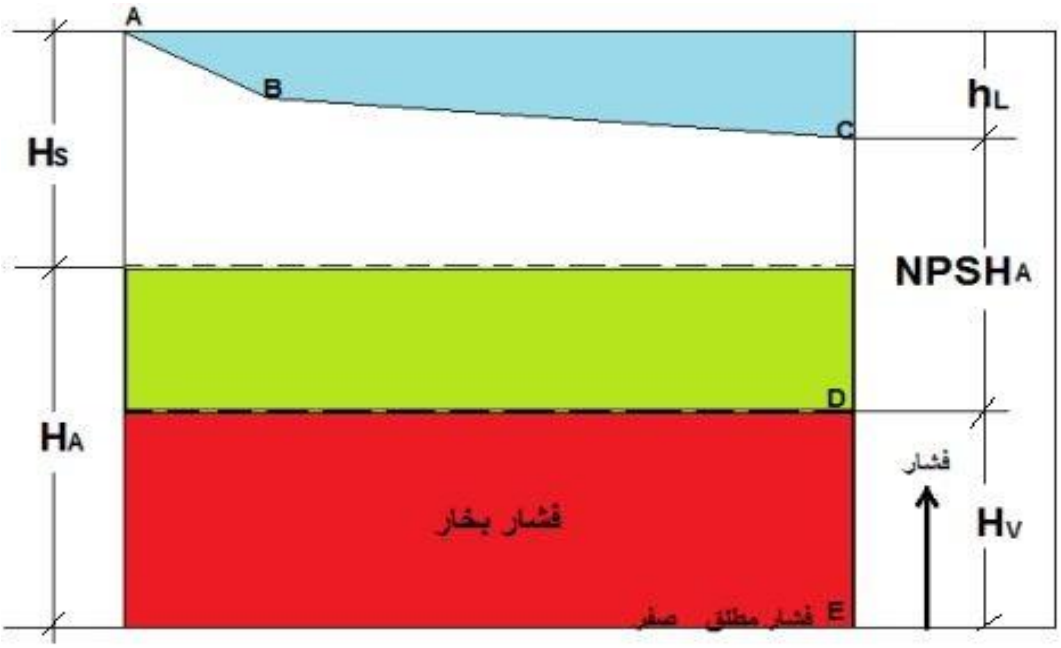
http://www.mohandes-iran.com

روش محاسبه NPSHA (NPSH موجود)

تصویر پائین یک سامانه ساده پمپ را نشان می دهد که در آن سیال در مخزن توسط پمپ از طریق لوله مکش و اتصالات آن وارد قسمت مکش پمپ می شود.



در نمودار پائین محور عمودی فشار مطلق و افقی فاصله لوله بین مخزن آب تا مکش پمپ را نشان می دهد. خط ABCشیب هیدرولیکی سامانه را نشان می دهد. قسمت AB نماینگر تلفات یا آفت فشار در قسمت ورودی ، اصطکاک لوله و اتصالات در لوله و اتصالات در بخش عمودی لوله کشی سامانه را نشان می دهد و قسمت BC نماینگر تلفات اصطکاک در لوله کشی قسمت افقی سامانه را نشان میدهد. فاصله DE نماینگر فشار بخار سیال و CD مقدار NPSHA را نشان می دهد.



http://www.mohandes-iran.com

از روی نمودار مقدار $NPSH_A$

$$NPSH_A = \pm H_S - h_L + H_A - H_V$$

H_S= فشار یا استیک مکش

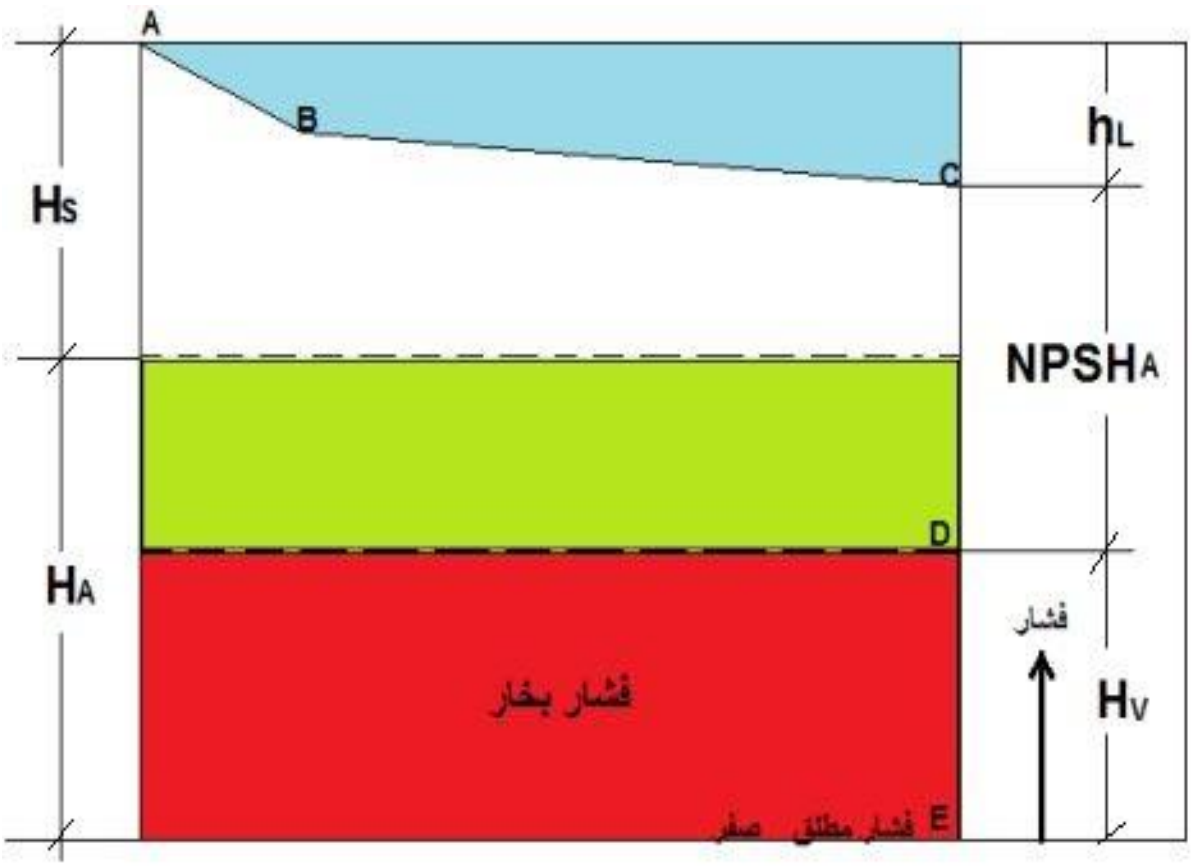
h_L= تلفات در خط مکش (اصطکاک درلوله ، اتصالات و ورودی پمپ)

H_A=فشار مطلق بر روی سطح سیال که می بایست به فوت و یا متر تبدیل گردد

H_V= فشار بخار سیال(که بستگی به دمای سیال است و در این مورد نیز می بایست تبدیل به فوت و یا متر گردد)

همانطور که ملاحظه می کنید در معادله فوق هد سرعت در قسمت فلنج مکش در نظر گرفته نشده است. بعلت مقدار کم آن می توان از آن چشم پوشی کرد.

نکته: برای مخازن رو باز و آب سرد میتوان مقدار $H_A = ۳۴ft$ و $H_V = ۲ft$ در نظر گرفت



http://www.mohandes-iran.com

اگر $NPSH_A$ کمتر از NPSHr پمپ باشد ، کاویتاسیون ، تولید صدا، پمپاژ نامناسب و مشکلات مکانیکی پدید خواهد آمد. برای اینکه این مشکلات به وجود نیاید، باید همیشه $NPSH_A$ بزرگتر از NPSHr باشد.

$$NPSH_A > NPSHr$$

در سامانه های **بسته** آب سرد و آب گرم که عموما فشار کافی در محل مکش پمپ تامین می شود ، لذا NPSHr چندان عامل مهمی نیست، اما در مورد برج های خنک کننده و سایر سامانه های باز نیازمند توجه ویژه به این موضوع می باشد.کلا به NPSHr در شرایط زیر می بایست توجه ویژه کرد

۱- نسبت سرعت جریان **زیاد** و هد **کم**

۲- دمای بالای سیال

۳-نصب پمپ در ارتفاع بالاتر از سطح دریا

۴-محدود کننده مکش(افت اصطکاک زیاد در لوله و اتصالات)

۵- فشاربخار بالا بر روی سیال

۶-ارتفاع مکش زیاد(سطح مایع پائین تر از پمپ قرار دارد)

۷- هد استیک مکش کم

انیسیتو هیدرلیک پیشنهاد می دهد $NPSH_A$ با حاشیه ایمنی بین ۰ تا ۴ برابر NPSHr باشد

یا

$$NPSH_A \div NPSHr = 1 \sim 5$$

http://www.mohandes-iran.com

روابط زير نيز براي تبديل فشار به هد سيال مورد استفاده قرار مي گيرند :

فوت سيال =s.g/ ۱۳۳/ ۱ × اينچ جيو

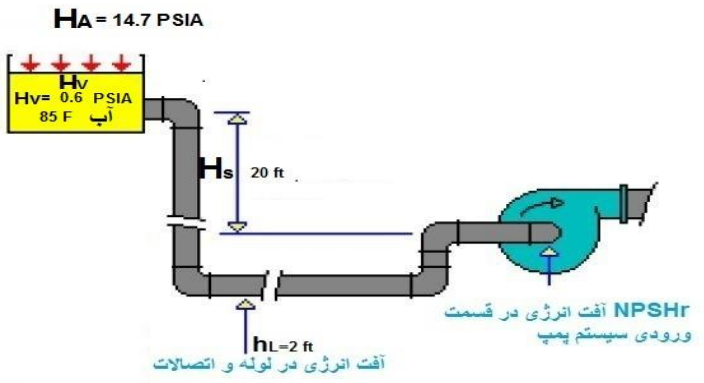
فوت آب= S.g × ۲۲/۴ / ميليمتر آب

فوت آب= S.g / ۲/۳۱ × پوند بر اينچ مربع

نكته : در محاسبات NPSHr و NPSHA در مسئله های پیشرو ما فقط بر روی قسمت مکش سامانه پمپاژ تمرکز می کنیم و کاری به قسمت دهش سامانه نداریم.

مسئله : ۱

پیدا کنید:
1- $NPSH_A$
2- حداکثر NPSHr قابل قبول را



$NPSH_A = \pm H_S - h_L + H_A - H_V$

$NPSH_A = + 20 - 2 + (14.7 \times 2.31 / 0.997) - (0.6 \times 2.31 / 0.997)$

$NPSH_A = + 20 - 2 + 34.1 - 1.4$

$NPSH_A = 50.7$ ft

بنابر این پمپی که می بایست برای این مثال انتخاب شود باید دارای NPSHr کمتر و یا حداقل مساوی با 50.7 ft باشد تا از بروز پدیده کاویتاسیون مما نعت بعمل آید.

http://www.mohandes-iran.com

باتوجه به اینکه سیال ما آب است و شرایط خاصی نیز مطرح نشده است می توان از رقم فوق ۲ فوت جهت بدست آوردن NPSHr ایمن کم کرد.

در نتیجه

$NPSH_r = NPSH_A - 2$

یا

$NPSH_r = 50.7 - 2$

$= 48.2 \text{ ft}$

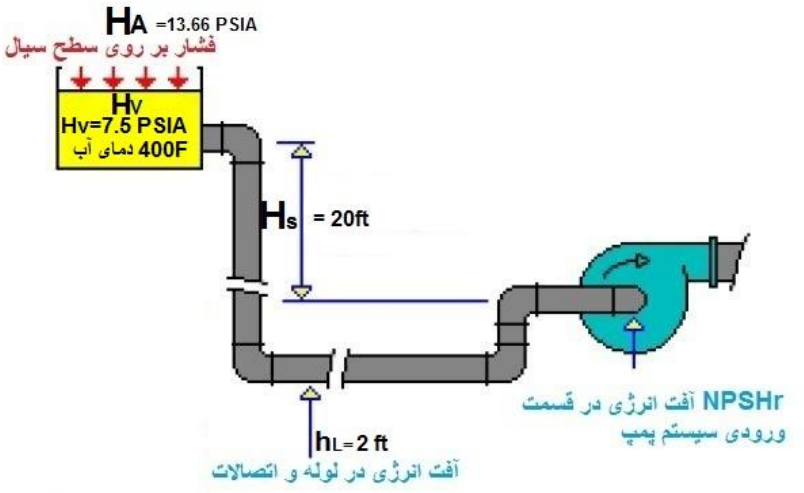
نتیجه گیری :در شرایط فوق ما می بایست سعی در انتخاب پمپی کنیم که هد کل و ظرفیت آن تامین این عدد باشد.

مسئله ۲

پیدا کنید:

1- $NPSH_A$

2- حداکثر NPSHr قابل قبول را



$NPSH_A = \pm H_S - h_L + H_A - H_V$

$NPSH_A = 20 - 2 + (13.66 \times 2.31) / 0.97 - (7.5 \times 2.31) / 0.97$

$NPSH_A = +20 - 2 + 32.5 - 17.9$

$NPSH_A = 32.6 \text{ ft}$

http://www.mohandes-iran.com

روش محاسبه حداکثر ارتفاع عملی مکش پمپ با استفاده از منحنی NPSHr

اما جالب است بدانید که از نظر تئوری حداکثر **ارتفاع مکش منفی** یک پمپ سا نتریفوژ ۱۰/۳ متر است، اما در عمل به علت و ابستگی این ارتفاع به عواملی همچون ، درجه حرارت آب و محیط ، ارتفاع از سطح دریا ، آب بندی لوله مکش ،سوپاپ مکش و غیره این عدد معمولا بین ۶ الی ۸ متر است که مقدار دقیق آن به مقدار NPSHr بدست آمده از روی منحنی NPSHr ارائه شده توسط سازندکان پمپ دارد.

حداکثر عمقی که یک پمپ می تواند مکش نماید قبل از اینکه دچار کاویتاسیون شود ،از فرمول ذیل قابل محاسبه است.

$$Z_{s\,max} = P_a/\rho g - (NPSH_{req} + h_L + P_v/\rho g)$$

که در این فرمول:

Pa: فشار مطلق مخزنی که سیال در آن قرار دارد

فشار اتمسفر استاندارد ۱ atm = ۱۰۱۳۲۵ Pa = ۱۴/۷ psi

NPSHr: حداقل NPSH مورد نیاز پمپ که توسط سازنده اعلام می شود(در کاتالوک یا نمودار های پمپ وجود دارد)

h_L : تلفات مسیر مکش پمپ

Pv: فشار بخار اشباع سیال پمپ شونده در دمای سیال

$Z_{s\,max}$: حداکثر عمقی که پمپ می اواند سیال را مکش کنند.

نکته: در صورت که سیال آب سرد باشد مقدارPv خیلی کم است ، لذا می توان از عبارت Pv/ ρg چشم پوشی کرد.

$$Z_{s\,max} = P_a/\rho g - (NPSH_{req} + h_L)$$

مقدارPa/ρg برای فشار اتمسفر و آب سرد(۲۰C)

Temp (°C)	چگالی آب خالص (g/cm³)	چگالی آب خالص (kg/m³)	چگالی شیر آب (g/cm³)	چگالی آب خالص lb/cu.ft	وزن مخصوص 4°C reference	وزن مخصوص 60°F reference
0 (solid)	0.9150	915.0	-	-	0.915	-
0 (liquid)	0.9999	999.9	0.99987	62.42	0.999	1.002
4	1.0000	1000	0.99999	62.42	1.000	1.001
20	0.9982	998.2	0.99823	62.28	0.998	0.999
40	0.9922	992.2	0.99225	61.92	0.992	0.993
60	0.9832	983.2	0.98389	61.39	0.983	0.985
80	0.9718	971.8	0.97487	60.65	0.972	0.973
100 (gas)	0.0006				-	-

http://www.mohandes-iran.com

۱۰/۳= ۹/۸ × ۹۹۸ /۲ ÷۱۰۱۳۲۵ متر است

لذا می توان معادله فوق را بصورت زیر نوشت

$Z_{s\,max}$ =۱۰/۳ - (NPSHreq +hL)

بهتر است از ۳% برای بالا بردن ضریب اطمینان صرف نظر کردد

$Z_{s\,max}$ =۱۰ - (NPSHreq +hL)

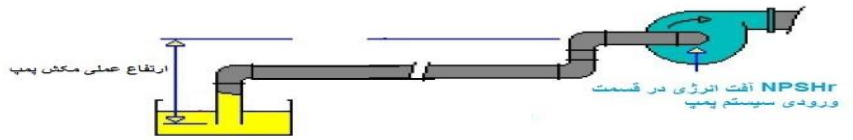
در بسیاری از موارد بعلت کم بودن مقدار hL (تلفات افت فشار در مسیر مکش) می توان از آن نیز چشم پوشی کرد.

لذا معادله فوق را می توان بصورت ساده نیز نوشت .

ارتفاع عملی مکش پمپ =۱۰ - NPSHr

مسئله۳

ارتفاع عملی پمپ گریز از مرکز ۴۰۰-۱۵۰ برای دبی ۲۰۰ متر مرکعب در ساعت وارتفاع ۴۷ متر را محاسبه کنید



با مراجعه به منحی های مشخصاتی پمپ ۴۰۰-۱۵۰ برای دبی ۴۰۰ و ارتفاع ۴۰ متر NPSHr =۲ بدست می آید.

در نتیجه

ارتفاع عملی مکش پمپ =۱۰ - NPSHr

ارتفاع عملی مکش پمپ = ۱۰ - ۲ = متر ۸

در نتیجه ارتفاع دهانه پمپ از سطح آب می بایست ۸ متر باشد.

حال به فرض ، پمپ را در ارتفاعی بیش از ۸ مترنصب کنیم چه اتفاقی رخ می دهد .

NPSHr = ۱۰ – ارتفاع عملی مکش پمپ

NPSHr = ۱۰ - ۹

NPSHr = ۱ متر

همانطور که ملاحظه می کنید این مقدار NPSHr کمتر از عدد بدست آمده از منحنی است ، لذا در صورت نصب ما شاهد پدیده کاویتاسیون خواهیم بود.

نکته : **ارتفاع عملی مکش پمپ** معمولا عددی بین ۶ الی ۸ متر و مقدار دقیق آن بستگی به (NPSH **لازم**) بدست آمده از منحی NPSHr می باشد.

http://www.mohandes-iran.com

نکات مهم در خط مکش پمپ

سعی کنید پمپ را در زیر تشتک برج نصب کنید شکل :۲۳ این کار جهت اطمینان یافتن از عدم جریان سیلابی در هنگام استارت می باشد. بهتر است ارتفاع H را حد المقدور و در صورت امکان بلند در نظر بگیرید. ارتفاع H حداقل نیز خود باعث افزایش خیلی زیاد $NPSH_R$ (حداقل بیش از ۳۰ فوت) و عدم افزایش بیش از ۵ فوت باعث افت فشار اصطکاک می شود.شکل :۲۴

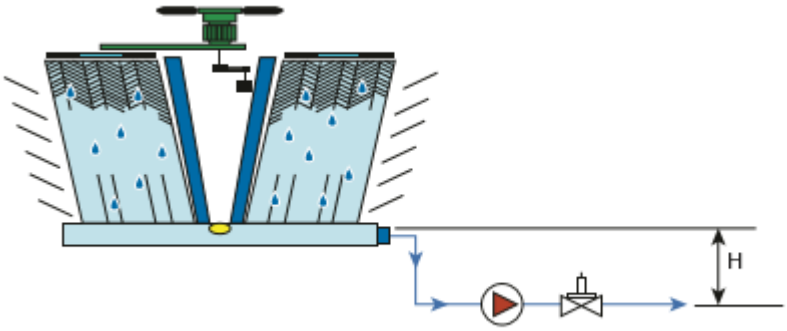


Figure 23. Pump Below Pan Water Level - **RIGHT**

۲- در صورت نصب پمپ در بالاتر از سطح آب در تشتک برج بهتر از نسبت به اجرا لوله کشی اشاره شده در شکل ۲۴ اقدام کنید. این نوع چیدمان و لوله کشی باعث جلوگیری از پدیده جریان سیلابی در پمپ می شود. در این روش $NPSH_R$ بعلت نصب پمپ در بالای سطح تشتک و نصب شیر یکرفه و یا یک شیر پایه (Foot Valve) کاهش می یابد.(در صورت امکان سعی کید از این روش استفاده نکنید)

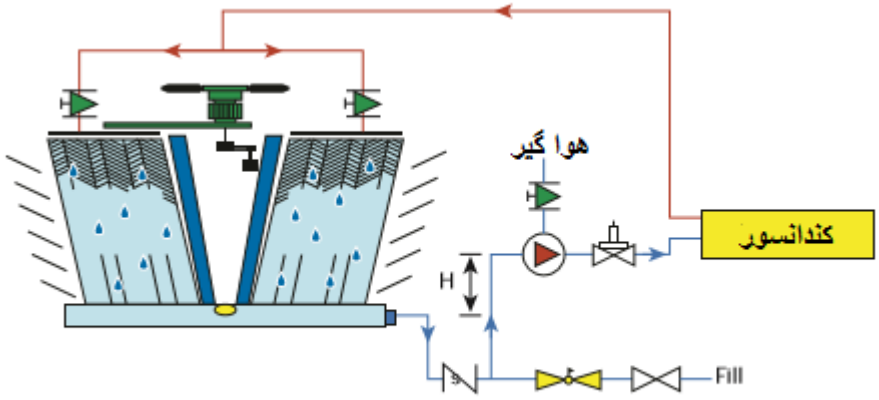


Figure 24. Pump Above Pan Water Level - **Avoid if Possible**

http://www.mohandes-iran.com

۳- سومین نکته حائز اهمیت در لوله کشی در خط مکش پمپ عدم ایجاد هر گونه تله هوا در نقطه ای بالاتر از پمپ می باشد شکل :۲۵ . در صورت غیر ممکن بودن این امر بهتر از نوع چیدمان و لوله کشی اشاره شده در شکل :۲۶ استفاده کنید.

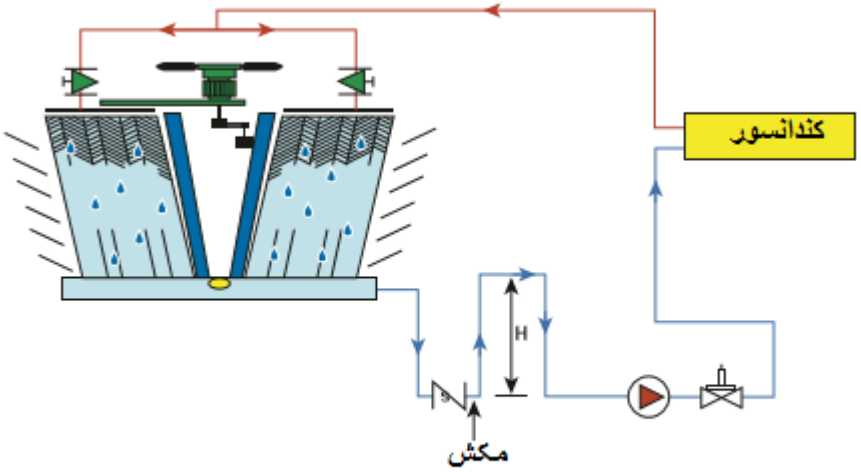


Figure 25. Suction Line Air Trapped - **WRONG**

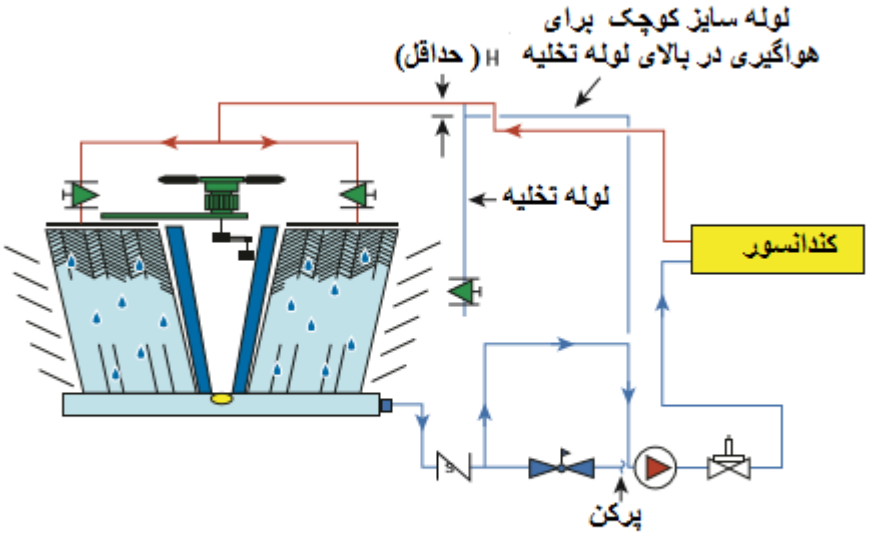


Figure 26. Improved Suction Line Air Trap Installation

http://www.mohandes-iran.com

صافی در خط مکش

صافی در خط مکش یکی از اتصالات مهم در لوله کشی برج است که نصب و یا عدم نصب آن می تواند مشکلات خاصی را برای پمپ برج بوجود آورد.
هدف از نصب صافی در حقیقت محافظت پمپ ، شیر آلات ، کندنسور و افشانک های برج در مقابل هر نوع آلودگی و اشغال است . اما نصب صافی با توری سوراخ ریز می تواند باعث گرفتگی و ایجاد کاهش فشار در مکش پمپ شود . لذا پیشنهاد می شود در هیچ شرایط نسبت به نصب صافی با توری سوراخ ریز در **خط مکش** اقدام نکنید شکل : ۲۷

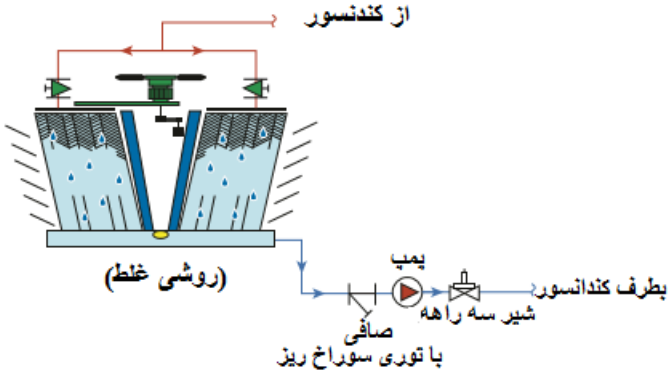


Figure 27. Fine Mesh Strainer in Pump Suction Line - WRONG

این نوع صافی ها همانطور که قبلا بدان اشاره کردیم باعث افت فشار و ایجاد پدیده کاویتاسیون می گردند. این مشکل را می توان با نصب صافی با توری سوراخ درشت با حداقل قطر "۱/۱۶ الی "۱/۴ رفع نمود. خروجی تشتک برج های را نیز می توان به صافی مجهز کرد. این نوع صافی ها را می توان جهت تمیز کردن براحتی بدون تخلیه سامانه باز و بسته کرد. در صورت عدم نصب این نوع صافی در خروجی به تشتک بهتر است نسبت به نصب صافی با سوراخ درشت در قسمت مکش پمپ اقدام کنید. جهت کاهش هر بیشتر افت فشار در قسمت مکش بهتر قطر این سوراخ های این صافی "۳/۱۶ در نظر گرفته شود.
صافی با سوراخ های ریز بیشتر برای محافظت از کندانسور و افشانک های برج می باشد.در صورت خواهان صافی با سوراخ های ریز بهتر است نصب آن را در **قسمت دهش** پمپ انجام دهید شکل:۲۸

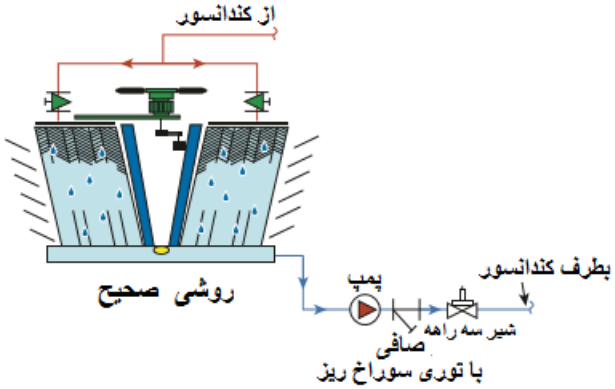


Figure 28. Tower Strainer Protects Pump; Fine Mesh Protects Condenser, Etc. - RIGHT

http://www.mohandes-iran.com

اما پیشنهاد می شود جهت ارتقاء هر چه بیشتر سامانه برج نسبت به نصب دو صافی یکی با سوراخ ها درشت در مکش و دیگری با سوراخ های ریز درقسمت دهش اقدام کنید شکل :۲۹

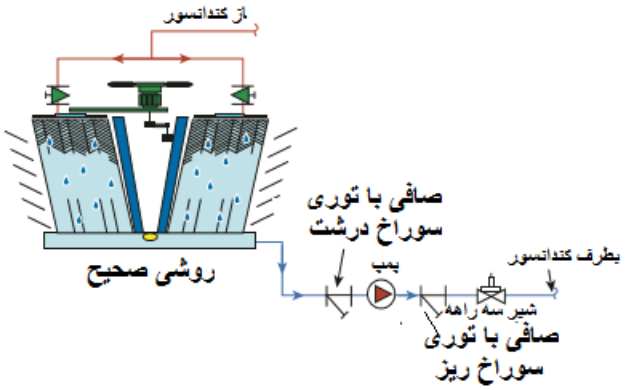


Figure 29. Large Mesh Strainer Protects Pump; Fine Mesh Protects Condenser, Etc. - RIGHT

گرفتگی و مسدود شدن صافی خط مکش با موادی مثل تکه های کوچک کاغذ ، نخ ، دانه های گیاهان ، برگ درختان و غیره همیشه یکی از مشکلات حاد در سامانه های برج های خنک کننده بوده است. چند راه مناسب برای مقابله با این مشکل وجود دارد که می توان به نصب توری در اطراف برج و یا سر ریز دادن جریان آب از تشتک (بجای تخلیه تدریجی) جهت خارج کردن مواد شناور بر روی سطح آب تشتک قبل از ایجاد گرفتگی در صافی اشاره کرد. قابل ذکر است حتی با بهترین روش ها نمی توان از مسدود شدن صافی جلوگیری کرد . یکی از روش های خوب و ساده جهت شناسائی زود هنگام گرفتگی و مسدود شدن صافی را می توان با نصب یک عدد فشار سنج تفاضلی و یا کلید فشار تفاضلی بدست آورد شکل ۳۰ . همانطور که در شکل ملاحظه می کنید با این نوع چیدمان می توانید نسبت به وجود اختلاف فشار در دو طرف صافی پی و سپس نسبت به رفع آن اقدام کنید. این سامانه را می توان حتی به سامانه اعلام زنگ اخبار نیز مجهز کرد.

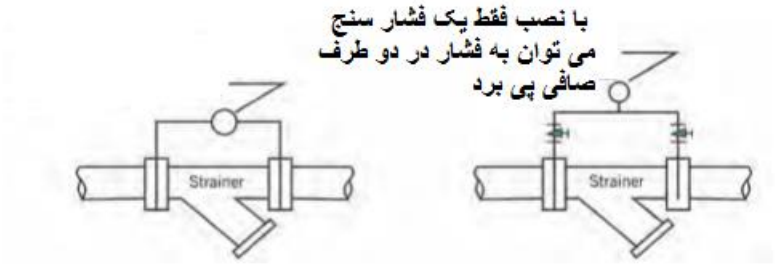


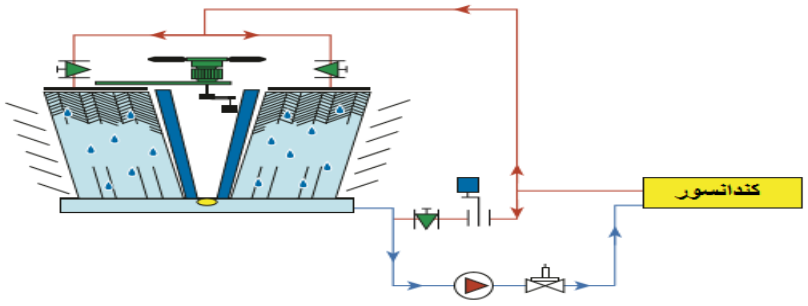
Figure 30. Reading Strainer Pressure Differential

http://www.mohandes-iran.com

روش های معمول کنارگذر

نا مناسب بودن چیدمان کنترلر **کنارگذر** می تواند مشکلاتی خاص برای کارکرد پمپ از جمله باعث تغییر جریان در کندانسور بوجود آورد. تغییر میزان جریان در کندانسور می تواند باعث بی ثابتی در دمای آب خنک (Chilled water) چیلر ، مخصوصا در چیلر های جذبی گردد . دو روش پایه برای کنار گذر برج وجود دارد .

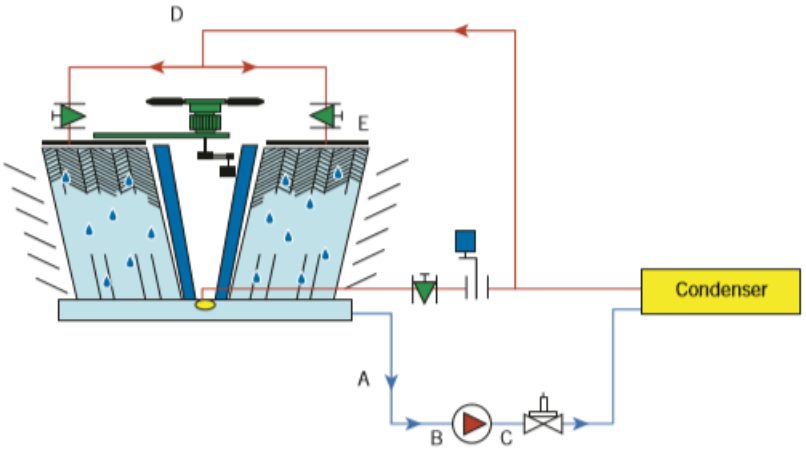
۱- کنار گذر به خط مکش



روش کنار گذر که پیشنهاد نمی شود

Figure 38A. Basic Tower Bypass Methods - to Suction - **Not Recommended**

۲- کنار گذر به تشتک برج



روش کنارگذر به تشتک برج که پیشنهاد آن می شود

Figure 38B. Basic Tower Bypass Methods - to Basin - **Recommended**

روش کنارگذر به تشتک روشی بسیار مناسب تراست چرا که ثابت بودن جریان درآن بسیار بالاست همچنین در این روش ورود هوا به داخل مکش پمپ بشدت کاهش می یابد.

شیرهای کنترل مورد استفاده در سامانه های کنارگذر شامل:

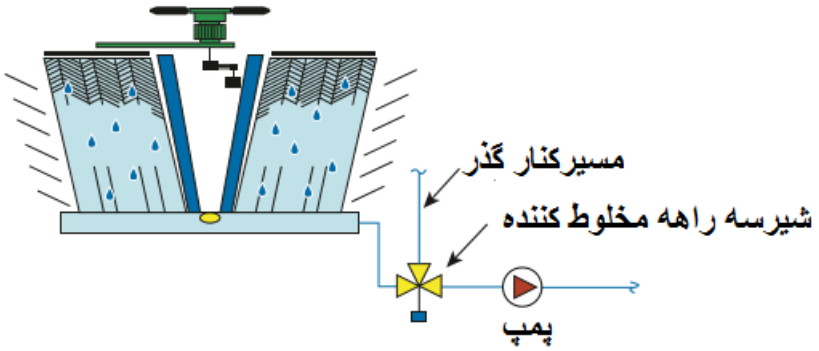
الف- شیر سه راهه منحرف کننده (Thee Way Diverting Valve) و یا شیر سه راهه کنار گذر

ب – دو عدد شیر دو راهه (معمولا پروانه ای) به جای یک عدد شیر سه راه منحرف کننده .

پ – نصب یک عدد شیر دو طرفه پروانه ای

http://www.mohandes-iran.com

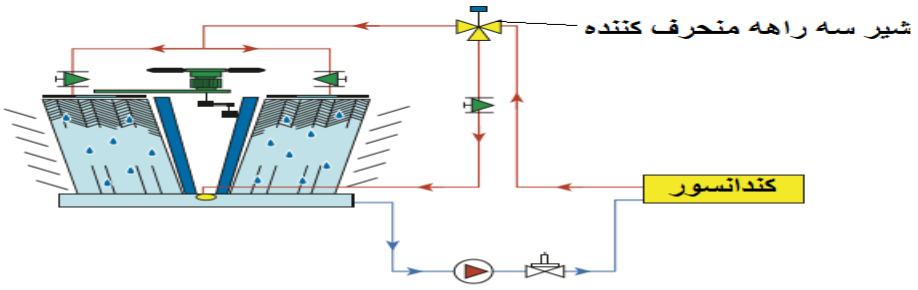
نکته : هرگز نسبت به استفاده از یک شیر مخلوط کننده (Three Way Mix. Valve) به جای یک شیر سه راه منحرف کننده نکنید شکل: ۳۹.
می دانید در صورت استفاده از **شیر سه راهه مخلوط** می بایست آن را در قسمت مکش پمپ نصب کرد و همین نصب در این قسمت باعث ایجاد مشکل در فشار مکش پمپ می شود، بدانید در صورت نصب این نوع شیر می بایست منتظر مشکلات فروان در سامانه برج خود باشید.



هرگز از این روش استفاده نکنید

Figure 39. Three-Way "Mix" - **Do Not Use**

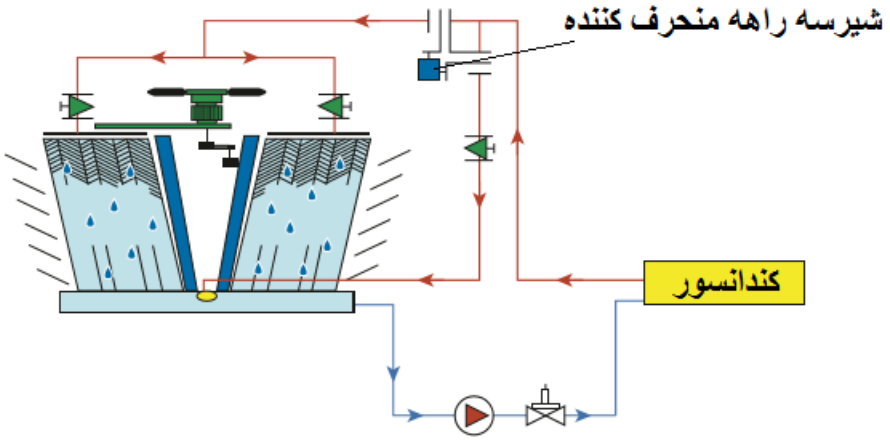
در صورتیکه با نصب **شیرهای سه راهه منحرف کننده** هیچ تاثیری در قسمت مکش پمپ نخواهد داشت . شاید علت اصلی استفاده از **شیر سه راه مخلوط کننده** فقط ارزانی و در دسترس بودن آن در بازارباشد . قابل ذکر است شیرهای سه راهه منحرف کننده معمولا در بازار گران و بسختی در دسترس همگان می باشد مخصوصا اندازه های ۴ اینچ و بالاتر از آن . بهتر است شیر سه راهه منحرف کننده را به دو روش شکل های ۴۰A و ۴۰ B در سامانه لوله کشی برج های خنک کننده نصب کنید.



استفاده از شیر سه راه منحرف کننده بجای شیر سه راهه مخلوط کننده

Figure 40A. Use Diverting Valves Not Three-Way Mix

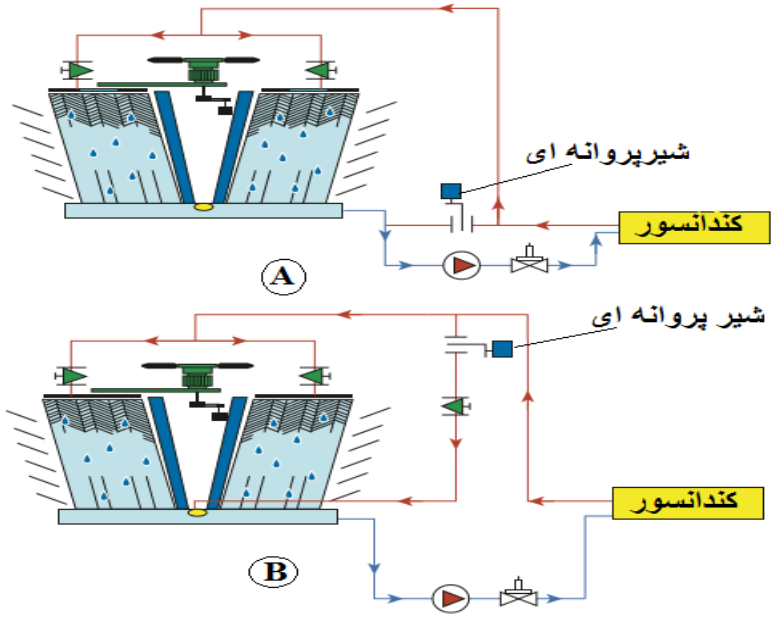
http://www.mohandes-iran.com



استفاده از شیر سه راهه منحرف کننده بجای شیر سه راهه مخلوط کننده

Figure 40B. Use Diverting Valves Not Three-Way Mix

شما می توانید برای اندازه های ۴ اینچ و بزرگتر جهت صرفه جویی در هزینه ها از شیر های پروانه ای استفاده کنید. شیرهای پروانه ای را می توان به دو روش شکل ۴۱A و ۴۱B در سامانه برج نصب کنید.



استفاده از شیر پروانه ای در کنار گذر

Figure 41. Single Butterfly Also Used for Bypass

http://www.mohandes-iran.com

خصوصیات عملکرد شیرهای کناگذر:

ضریب جریان و یا ضریب شیر C_v

یکی از پارامترهای مهم در طراحی لوله کشی (پایپینگ) میزان **افت فشار** در هنگام عبور سیال از آن است . واضح است که این افت فشار به درصد باز بودن شیر ، نوع سیال و شرایط آن و عواملی دیگر از جمله نوع شیر ، ساختمان داخلی ، سایز، مواد (متریال) صافی سطوح داخلی و ... بستگی دارد . عوامل فوق الذکر در یک کمیت کاربردی خلاصه می شود. این کمیت " **ضریب جریان شیر** " یا " **ضریب شیر** " (Cv) نام دارد که با مشخص بودن آن می توان محاسبات مربوط به افت فشار و دیگر محاسبات شیر را انجام داد. از این ضریب می توان برای تعیین سایز شیر نیز استفاده کرد تا به یک دبی پایدار با افت فشار مناسب دست یافت . **طبق تعریف: یک (۱) Cv عبارت است یک گالن آمریکایی آب با دمای 60° F که در هنگام عبور از شیر ۱ psi افت فشار داشته باشد.**

.

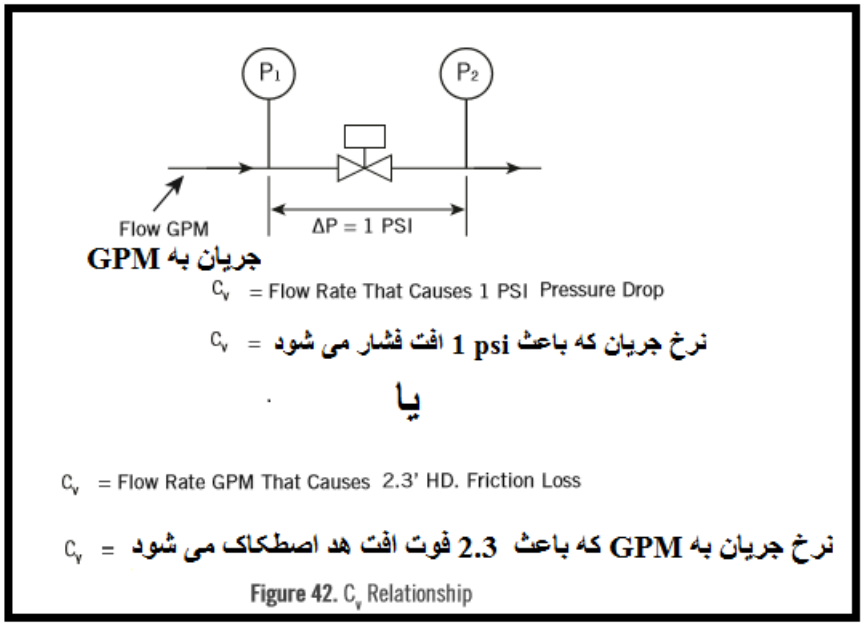


Figure 42. C_v Relationship

در برخی موارد نیز بجای C_v ضریب دیگری بنام K_v مورد استفاده قرار می گیرد که K_v نسبت جریان حجمی عبوری از یک شیر بر حسب **متر مکعب در ساعت با دمای** ۵ الی ۴۰ درجه سانتگراد و فشار ۱ bar است

C_v اروپائی = $K_v \times 0.963$

C_v آمریکایی = $K_v \times 1.15$

http://www.mohandes-iran.com

اما معادله کلی C_v

$$C_v = Q(gpm) / \sqrt{\Delta p}$$

یا

$$Q(gpm) = C_v \sqrt{\Delta p}$$

یا

مقدار Cv معمولا توسط سازندگان شیر (جداول کاتولوگ شیر) نیز ارائه می شوند . البته برای محاسبات پایپینگ بطور تخمینی می توانید از جداول عمومی ذیل استفاده کنید .

نمونه ای از جدول مقادیر (C_V) برای یک نوع خاص از Valve										
OPEN % باز بودن شیر %										اندازه Size
100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	
0.2	0.19	0.18	0.16	0.14	0.12	0.1	0.08	0.06	0.03	1/2
0.39	0.37	0.34	0.31	0.28	0.24	0.2	0.16	0.11	0.06	3/4
0.65	0.62	0.57	0.52	0.46	0.4	0.33	0.26	0.18	0.09	1
1.56	1.48	1.37	1.24	1.11	0.95	0.79	0.62	0.43	0.23	1/2 1
2.64	2.5	2.31	2.1	1.87	1.61	1.33	1.05	0.73	0.38	2
3.83	3.62	3.35	3.05	2.71	2.33	1.93	1.51	1.05	0.55	1/2 2
5.81	5.5	5.08	4.62	4.11	3.53	2.93	2.3	1.6	0.84	3
9.51	9.01	8.33	7.57	6.73	5.78	4.81	3.76	2.62	1.37	4
20.5	19.5	18	16.3	14.5	12.5	10.4	8.1	5.7	3	6
40.6	38.4	35.5	32.3	28.7	24.7	20.5	16.1	11.2	5.8	8
58.4	55.3	51.1	46.5	41.3	35.5	29.5	23.1	16.1	8.4	10
81.9	77.5	71.7	65.2	58	49.8	41.4	32.4	22.6	11.8	12

http://www.mohandes-iran.com

مسئله ۱ : میزان افت فشار جریان آب در یک لوله "۴ با سرعت ۳ m/s در هنگام عبور از یک شیر هنگامی که شیر بطور کامل باز باشد چقدر است . افت فشار را در حالتی که شیر نیمه باز است بدست آورید و سپس با مقدار افت فشار بدست آمده در قسمت اول مقایسه کنید . جدول Cv مربوط به این شیر به شرح زیر می باشد.

/OPENING SIZE میزان باز بودن شیر	5°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°
"4	25.	3.	1.2	3.5	0.10	6.18	5.22	3.27	6.42	1.58	0.70

برای محاسبات عمومی شیرهای که جدول ضریب ندارند ، با تقریب مناسبی می توانید از جدول زیر این ضریب را استخراج کنید.

Information on Standard Commercial Control Valves

$C_d = Cv/d^2$	(Size (in	Body Type
10	to 16 1/4	Globe
30	to 36 1/2	Ball
20	to 20 3/4	Butterfly
22	to 20 1/4	Diaphragm

d = سایز شیر (قطر لوله ای که به شیر متصل می شود) بر اساس اینچ می باشد.

مسئله ۲ : در یک شیر کنترل کاملا باز ضریب Cv =۸ است و مقدار آب ۲۴ GPM است .افت فشار شیر برحسب psi را بدست آورید .

حل :

معادله مورد نیاز

$$Q(gpm) = C_v \sqrt{\Delta p}$$
$$24 = 8 \sqrt{\Delta p}$$
$$\Delta p = 9$$

مسئله ۳: میزان گذر آب از یک شیر کنترل در حالت کاملا باز در دقیقه و اختلاف فشار در دو طرف آن ۰/۱۶ بار است . ضریب جریان(Kv) این شیر چقدر است.

$$Q(m^3/h) = K_v \sqrt{\Delta p}$$

$$(۴۰ /۱۰^۳)\times ۶۰ = K_v \sqrt{۰/ ۱۶}$$
$$Kv = ۶$$

http://www.mohandes-iran.com

قابل ذکر است در مواردی خیلی از سازندگان شیرآلات به جای ارائه جدول اقدام به ارائه نموداری شبیه نمودار زیر می کنند که می توان از آن بطور صحیح استفاده کرد .

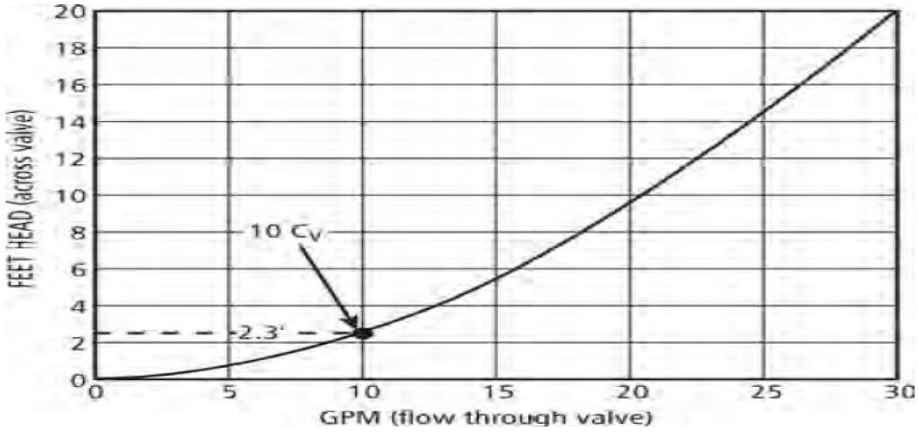


Figure 43. Valve Flow-Friction Loss Relationship Described By $C_v = 10$

چند نکته مهم :

نکته اول : بدانید که در **شیر های دو راهه** مقدار C_V بر اساس حرکت رو به باز و یا بسته شیر تغییر می کند.

نکته دوم : ولی در مورد **شیر های سه راهه** مطلب فوق صدق نمی کند ، در حقیقت شیرهای سه راهه را طوری طراحی میکند که ضریب جریان C_V همیشه ثابت باقی خواهد ماند. این یعنی اینکه در **اختلاف هد های ثابت ، جریان** در مسیر ثابت خواهد ماند ، چه جریان فقط در یک جهت درگاه (port) و یا در ترکیبی از چند درگاه انجام گیرد.

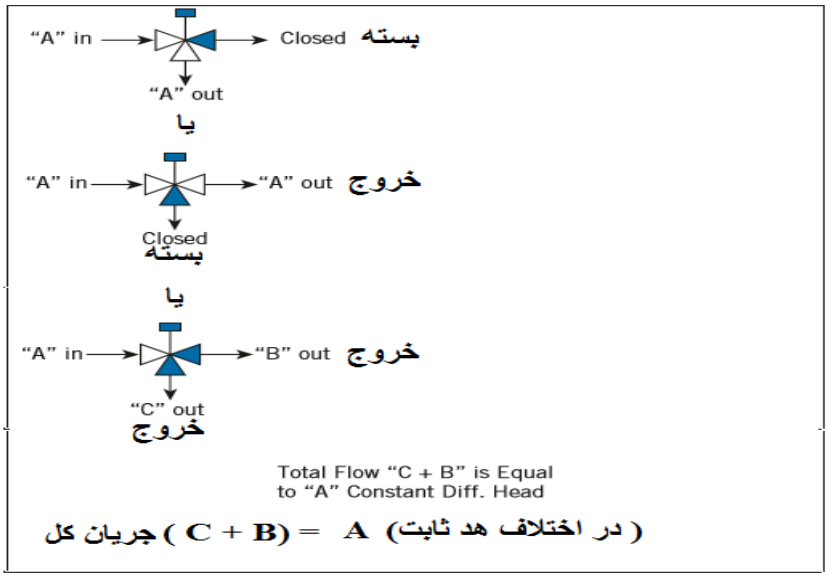
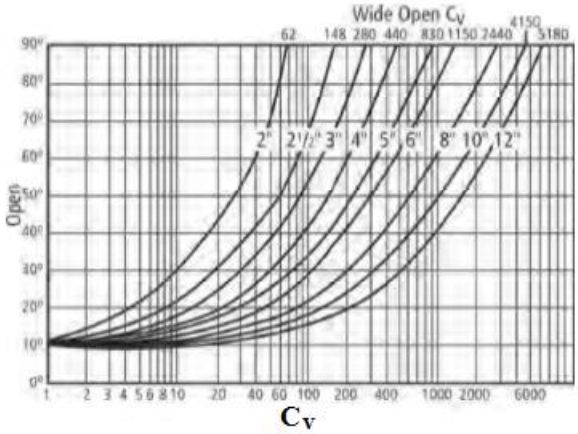


Figure 45. Three-Way Valves are Designed to Constant C_v

http://www.mohandes-iran.com

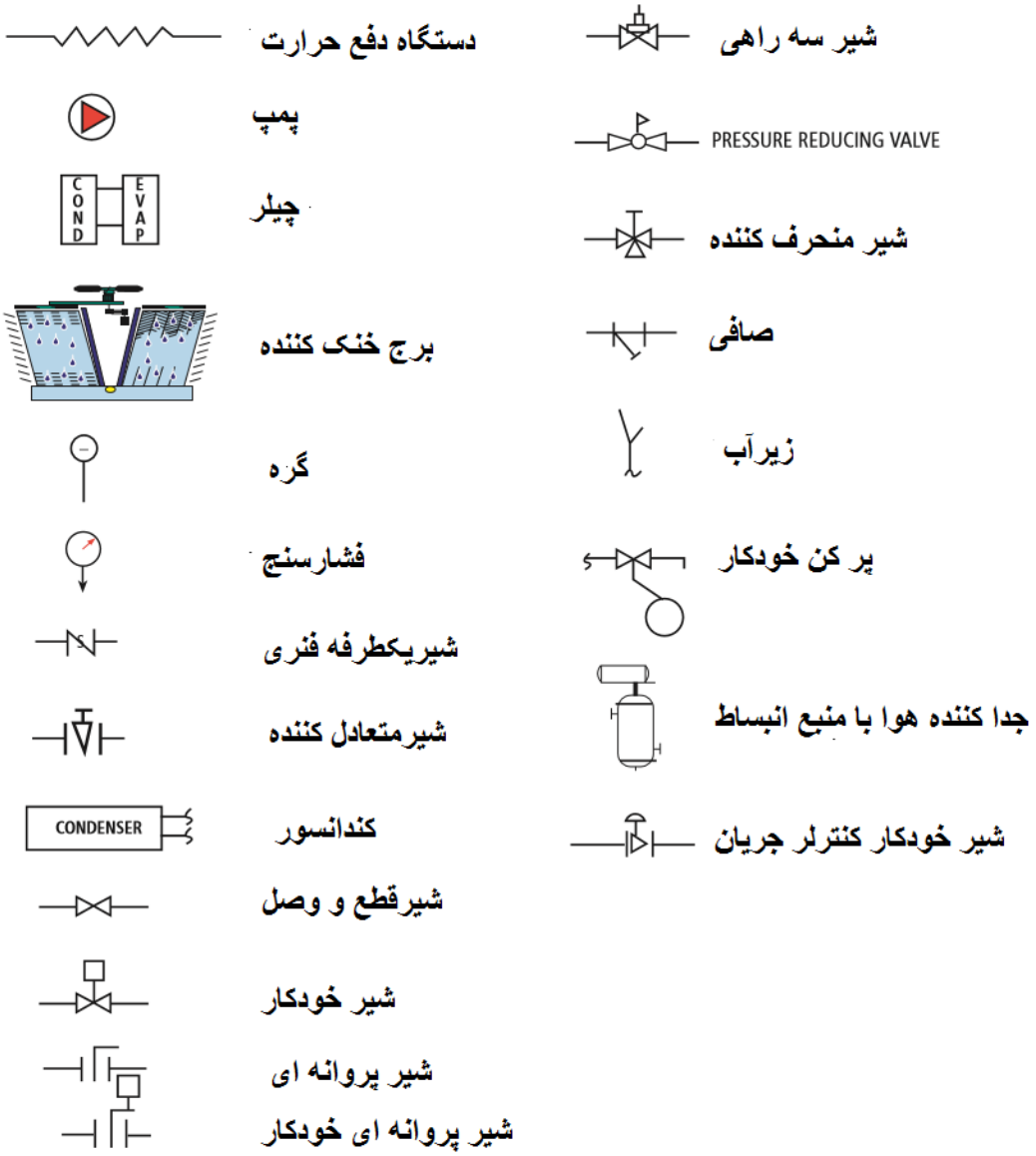
نکته سوم: درمواردی که از شیر فلکه های پروانه ای بجای شیر سه راه استفاده می شود ، بهتر است برای بدست آورد جواب مناسب نسبت به بررسی نمودار این شیرها اقدام کنید.



نتیجه گیری : در محاسبات حتما نسبت به درنظر گرفتن این افت فشار در هد مورد نیاز پمپ خود دقت فراوان داشته باشید.

http://www.mohandes-iran.com

راهنمای علایم



ماخذ ۱: Common Problems Faced In Refrigerated Storages
By: Ramesh Parangpey

۳- پایگاه علمی مهندسی تاسیسات

مطالعه مطالب در کانال راهنمای تاسیسات برودتی (سرا)
https://t.me/S_ R_ Ashnakhah

http://www.mohandes-iran.com

http://www.mohandes-iran.com