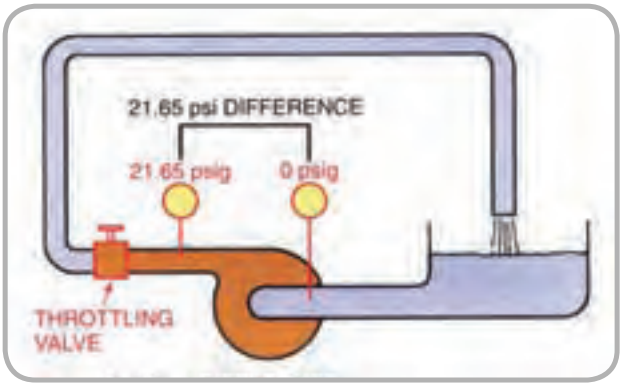
فصل پنجم
در یک نگاه



سیستم انتقال آب گرم

* اجزای سیستم انتقال آب گرم
  * سیستم‌های لوله‌کشی
    * سیستم لوله‌کشی با برگشت مستقیم
    * سیستم لوله‌کشی با برگشت معکوس
    * سیستم لوله‌کشی مختلط
  * محاسبه شبکه لوله‌کشی حرارت‌مرکزی
    * فشار
    * واحدهای فشار
    * تبدیل واحدهای فشار
    * افت فشار
    * واحدهای افت فشار
    * محاسبه دبی آب در لوله‌ها
    * سرعت آب در لوله
    * تعیین قطر لوله
    * محاسبه افت فشار
* موتور پمپ جریانی
  * طرز کار موتور پمپ جریانی
  * انواع موتور پمپ جریانی
  * رابطه قدرت با مقدار آب‌دهی و هد و بازده
  * اتصال موازی پمپ‌ها
  * اتصال سری پمپ‌ها
  * محاسبه و انتخاب پمپ جریانی
  * انتخاب پمپ زمینی
* انبساط لوله‌ها
  * قطعات انبساطی
  * شیلنگ‌های قابل انعطاف فلزی یا لاستیکی
  * لوپ و پای انبساطی
* ارتعاش در لوله‌کشی

سیستم انتقال آب گرم

اجزای سیستم انتقال آب گرم

شبکه لوله‌کشی رفت آب گرم – شبکه لوله‌کشی برگشت آب گرم – پمپ جریانی (سیرکولاتور) – فیتینگ‌ها (زانوسه راه‌ها) – شیرها – صافی‌ها – لرزه گیرها

روش‌های لوله‌کشی سیستم حرارت مرکزی با آب گرم

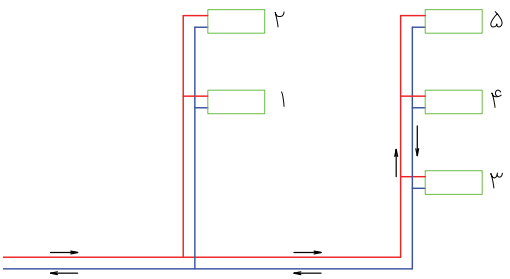
۱- سیستم لوله‌کشی با برگشت مستقیم

۲- سیستم لوله‌کشی با برگشت معکوس

۳- سیستم لوله‌کشی مختلط

سیستم لوله‌کشی با برگشت مستقیم

همان‌طور که در شکل زیر مشاهده می‌کنید، لوله رفتِ آب گرم از طریق دو رایزر، آب گرم را به دستگاه‌های پخش‌کننده گرما می‌رساند. آب گرم پس از تبادل گرما از طریق لوله‌ی برگشت آب گرم به طرف دستگاه مولد آب گرم (دیگ) در موتورخانه بر می‌گردد.



شکل ۱-۵- سیستم لوله‌کشی با برگشت مستقیم

پرسش: نزدیک‌ترین رادیاتور به موتورخانه را بر روی شکل ۱-۵ پیدا کنید. آیا طول لوله‌ی رفت و برگشت این رادیاتور از سایر رادیاتورها کمتر است؟

به علت نزدیکتر بودن این رادیاتور به موتورخانه و کم بودن طول لوله‌ها، افت فشار آب گرم در رسیدن به آن کمتر است و آب گرم به آسانی به این رادیاتور می‌رسد و پس از تبادل گرما نیز به آسانی از رادیاتور خارج و به موتورخانه بر می‌گردد.

پرسش: شماره‌ی دورترین رادیاتور از موتورخانه را بر روی شکل ۱-۵ پیدا کنید.

طول لوله‌های رفت و برگشت آب گرم این رادیاتور نسبت به رادیاتورهای دیگر بیش‌تر است در نتیجه افت فشار آب گرم برای رسیدن به این رادیاتور نیز بیش‌تر است. علت آن طول زیادتر لوله‌ها و عبور از فیتینگ‌های بیشتر است. پس آب گرم به آسانی به این رادیاتور نمی‌رسد این رادیاتور نسبت به رادیاتور اول دمای کمتری خواهد داشت.

مشخصات لوله کشی با برگشت مستقیم:

جهت جریان در لوله رفت و برگشت آب گرم بر عکس یکدیگر می‌باشد.

افت فشار در شبکه لوله‌کشی برای رادیاتورهای دورتر، بیشتر و برای رادیاتورهای نزدیکتر، کمتر است.

قطر لوله‌ی رفت و لوله برگشت با هم تغییر می‌کند و لوله‌های رفت و برگشت آب گرم در هر مقطع دارای قطرهای یکسان هستند.

پرسش: قطر لوله رفت و برگشت آب گرم در کدام قسمت از لوله‌کشی با برگشت مستقیم بیشتر از سایر قسمت‌ها است؟

آیا کمترین قطر لوله‌ی رفت و برگشت مربوط به رادیاتور ۲ و ۵ است؟

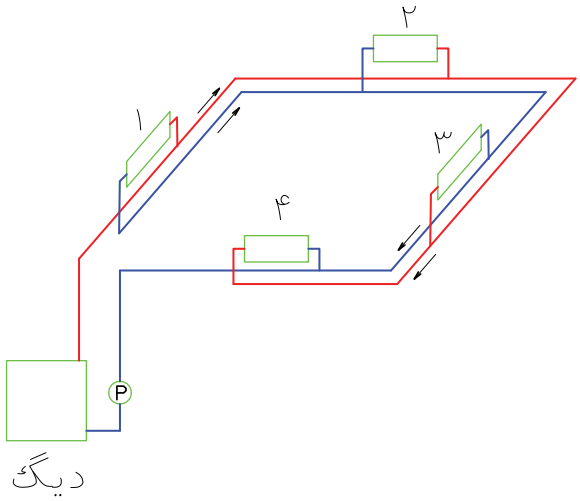
سیستم لوله‌کشی با برگشت معکوس

در این روش لوله‌ی رفت آب گرم مانند سیستم لوله‌کشی با برگشت مستقیم، آب گرم را به تمامی رادیاتورها می‌رساند. همان‌طور که در شکل ۲-۵ مشاهده می‌کنید آب گرم خروجی از اولین رادیاتور به طرف موتورخانه

(دیگ) جریان نمی‌یابد. بلکه از طریق لوله برگشت آب گرم به طرف رادیاتور شماره ۲ جریان می‌یابد و آب گرم خروجی از این رادیاتور را نیز جمع کرده و به طرف رادیاتور شماره ۳ و ۴ حرکت کرده و با جمع‌آوری آب گرم برگشتی این دو رادیاتور به طرف موتورخانه برمی‌گردد.

پرسش: نزدیک‌ترین رادیاتور را بر روی شکل ۲-۵ پیدا کنید.

طول لوله رفت آب گرم به این رادیاتور و طول لوله برگشت آب گرم از این رادیاتور را تا موتورخانه بر روی شکل پیگیری کنید. طول لوله رفت آب گرم بیشتر است یا لوله‌ی برگشت آب گرم؟



شکل ۲ – ۵- سیستم لوله‌کشی با برگشت معکوس

پرسش: طول لوله رفت آب گرم آخرین رادیاتور (شماره ۴) و لوله برگشت آب گرم این رادیاتور را بر روی شکل ۲-۵ پیگیری کنید. طول کدام لوله بیشتر است؟

همانطور که متوجه شدید مجموع طول لوله رفت و برگشت تمام رادیاتورها با هم برابر می‌باشند. طول لوله رفت رادیاتور اول کم ولی طول لوله برگشت آن بیشتر است و طول لوله رفت رادیاتور چهارم زیاد و طول لوله برگشت آن کم است.

تذکر: می‌توانید طول‌ها را با خط‌کش اندازه بگیرید و سپس با هم مقایسه کنید. در نتیجه افت فشار برای تمام رادیاتورها برابر و یکسان می‌باشد و آب گرم به صورت متعادل به تمام رادیاتورها می‌رسد و دیگر اولین رادیاتور نسبت به دورترین رادیاتور گرم‌تر نمی‌باشد.

لوله‌کشی با برگشت معکوس را ریورز (Revers) نیز می‌نامند.

مشخصات لوله‌کشی با برگشت معکوس:

جهت جریان آب در لوله برگشت و لوله رفت یکسان است. افت فشار لوله‌کشی رفت و برگشت برای تمام رادیاتورها با هم برابر است. قطر لوله‌های رفت و برگشت در یک مقطع با هم برابر نمی‌باشند.

پرسش: بیشترین قطر لوله‌ی رفت مربوط به کدام قسمت از شبکه لوله‌کشی است؟

کم‌ترین قطر لوله‌ی برگشت مربوط به کدام قسمت از شبکه لوله‌کشی است؟

آیا لوله‌ی رفت با قطر بیشتر در مجاورت با لوله برگشت با قطر کمتر است؟

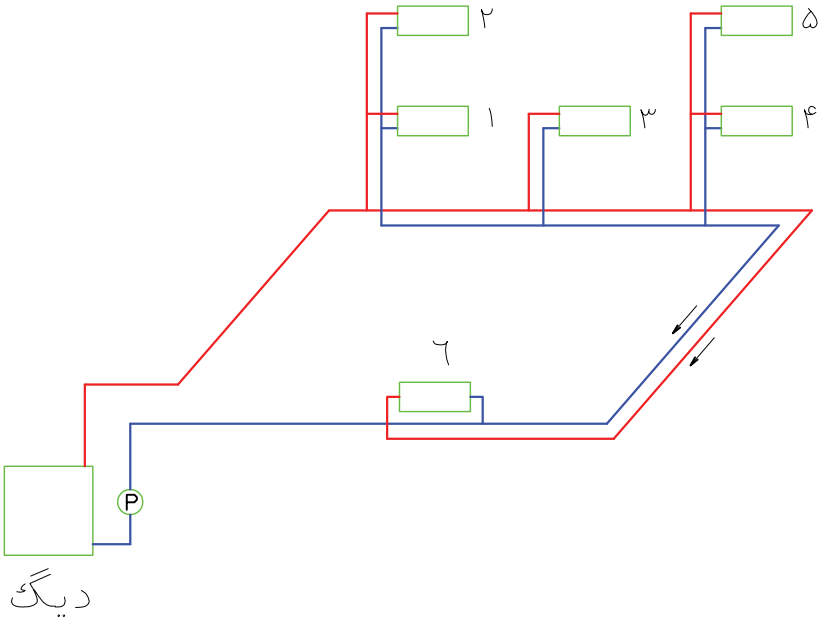
سیستم لوله‌کشی مختلط

این روش ترکیبی از سیستم لوله‌کشی با برگشت مستقیم و سیستم لوله‌کشی با برگشت معکوس است.

پرسش: لوله‌کشی رایزرها در شکل ۳-۵ به چه روشی انجام شده است؟

همان‌طور که در شکل ۳-۵ مشاهده می‌کنید آب گرم از لوله رفت خروجی از موتورخانه به اولین رایزر می‌رسد و از طریق این لوله قائم (رایزر) آب گرم رادیاتورهای ۱ و ۲ تأمین می‌گردد.

برگشت این دو رادیاتور به روش مستقیم انجام شده است. لوله برگشت این رایزر وقتی به پایین می‌رسد به طرف موتورخانه حرکت نمی‌کند بلکه به طرف رایزرهای دیگر می‌رود در نتیجه شبکه لوله‌کشی افقی در پایین بصورت برگشت معکوس است و رایزرها با برگشت مستقیم، لوله‌کشی شده است و این روش را مختلط می‌نامند.



شکل ۳-۵- سیستم لوله‌کشی مختلط

کاربرد سیستم‌های لوله‌کشی به روش‌های مختلف

انتخاب سیستم‌های مختلف لوله‌کشی به مساحت ساختمان، ارتفاع ساختمان، نوع دستگاه‌های پخش‌کننده گرما، مسیر لوله‌کشی، هزینه لوله‌کشی و... بستگی دارد.

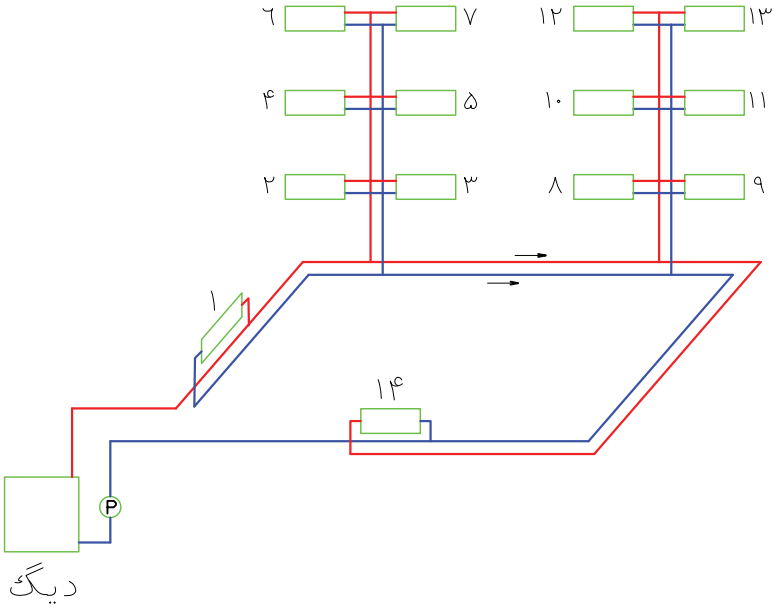
اما بطور نمونه می‌توانیم بگوئیم در ساختمان‌های کوچک که طول مسیر لوله‌کشی زیاد نیست مانند آپارتمان‌ها با زیربنای کم، خانه‌های مسکونی کوچک یک و دو طبقه از سیستم لوله‌کشی مستقیم استفاده می‌کنیم. در ساختمان‌های یک طبقه که زیر بنای آن‌ها زیاد است از سیستم لوله‌کشی با برگشت معکوس استفاده می‌کنیم.

در ساختمان‌های اداری که زیربنای طبقات زیاد است و نیاز به کنترل مستقل هر طبقه نمی‌باشد از سیستم لوله‌کشی مختلط استفاده می‌کنیم. بطور مثال در طبقه

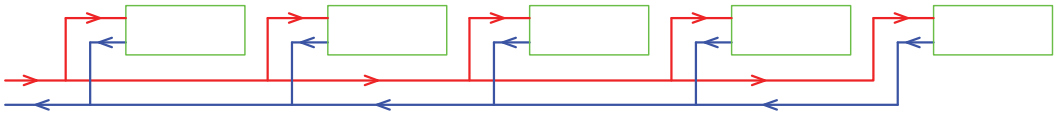
زیرزمین یا طبقه همکف شبکه لوله‌کشی رفت و برگشت را به صورت حلقوی (رینگ) به روش برگشت معکوس اجرا می‌کنیم و از قسمت‌های مختلف این رینگ رایزرهایی را برای رادیاتور طبقات به روش برگشت مستقیم اجرا می‌کنیم.

در ساختمان‌های اداری که زیربنای طبقات کم ولی تعداد طبقات زیاد می‌باشد، شبکه لوله‌کشی حلقوی در پایین ساختمان را با روش مستقیم لوله‌کشی می‌کنیم و رایزرها را به روش معکوس لوله‌کشی می‌کنند.

تمرین: سیستم‌های لوله کشی شکل‌های زیر را مشخص کنید.

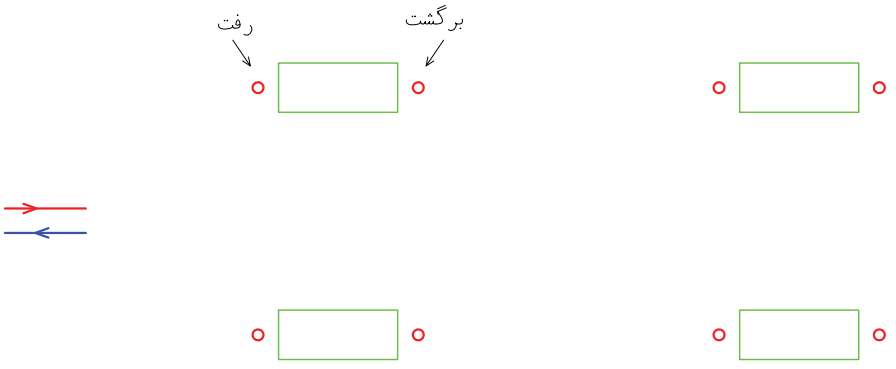


الف)

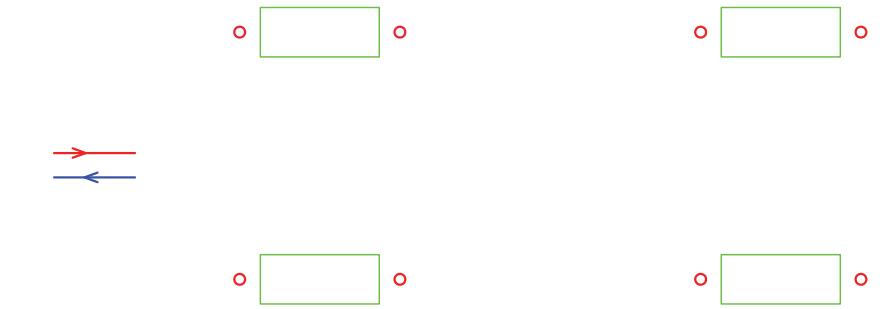


ب)

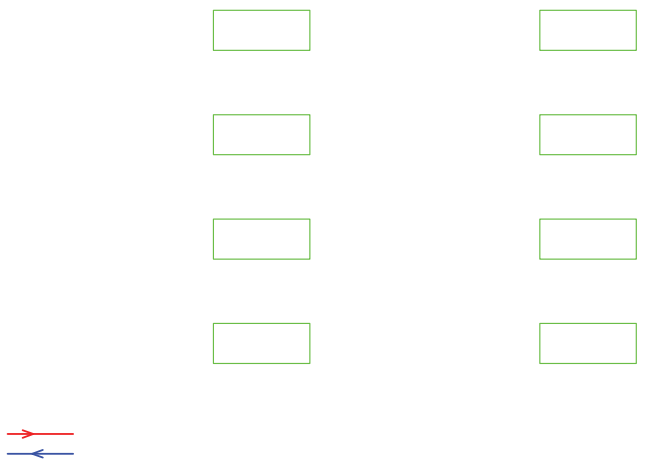
تمرین: لوله‌کشی رادیاتورهای زیر را با برگشت مستقیم ترسیم کنید.



تمرین: لوله‌کشی رادیاتورهای زیر را با برگشت معکوس ترسیم کنید.



تمرین: لوله‌کشی رادیاتورهایی را که در ۴ طبقه نصب شده‌اند به روش مختلط انجام دهید. (رایزرها برگشت معکوس و افقی در پایین ساختمان با برگشت مستقیم)



محاسبه شبکه لوله‌کشی حرارت مرکزی با آب گرم

تعریف فشار: نیروی وارد بر سطح را فشار می‌نامند و مقدار آن از رابطه $P=\frac{F}{A}$ قابل محاسبه است. در این رابطه F نیرو بر حسب نیوتن (N) و A سطح بر حسب متر مربع (m^2) می‌باشد.

$$P=\frac{F}{A} \qquad P=\frac{N}{m^2}$$

نیوتن بر متر مربع ($\frac{N}{m^2}$) را پاسکال (Pa) می‌نامند. پاسکال واحد فشار در سیستم بین‌المللی واحدها (SI) است.

واحدهای فشار: واحد فشار در سیستم انگلیسی PSI است.

PSI مخفف پوند بر اینچ مربع ($\frac{Lb}{in^2}$) است.

کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع ($\frac{Kg}{cm^2}$) از واحدهای دیگر فشار است. واحد دیگر فشار آتمسفر (atm) می‌باشد. فشار هوا در کنار دریا برابر یک آتمسفر (atm) است.

برای تبدیل واحدهای فشار به یکدیگر می‌توانیم از جدول زیراستفاده کنیم. در ردیف بالای جدول واحدهای فشاری که می‌خواهیم آن‌را به واحدهای دیگر تبدیل کنیم را مشاهده می‌کنید. این واحدها از چپ به راست عبارت است از: پاسکال ـ آتمسفر ـ بار ـ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع ـ پوند بر اینچ مربع ـ میلیمتر جیوه ـ اینچ جیوه و دین بر سانتی‌متر مربع.

جدول ۱-۵- تبدیل واحد های فشار

	pascal	atm	bar	kg/cm²	psi	mmHg	inHg	dyne/cm²
pascal	1	9.8692 10^{-5}	10^{-5}	1.0192 10^{-5}	1.45038 10^{-4}	0.00750	2.953 10^{-4}	10
atm	101.325	1	101.325	1.03323	14.6960	760.0	29.921	1013.250
bar	10^5	0.98692	1	1.01972	14.5038	750.062	29.530	10^6
kg/cm²	98.066	0.96784	0.98066	1	14.223	735.559	28.959	980.665
psi	9894.8	0.068046	0.068948	0.070030696	1	51.715	2.0360	33.864
mmHg	133.32	0.00131579	0.0013332	0.0013595	0.0193368	1	0.03937	1333.2
inHg	3386.4	0.033421	0.33864	0.034532	0.491154	24.400	1	33.864
dyne/cm²	0.100	9.8692 10^{-7}	10^{-6}	1.01972 10^{-6}	1.45038 10^{-5}	0.000750	2.953 10^{-5}	1

فشار را می‌توان بر حسب ارتفاع ستون مایعات نیز اندازه‌گیری کنیم مانند: میلی‌متر جیوه (mm.Hg)، اینچ جیوه (in.Hg)، متر ستون آب ($m.H_2o$)، اینچ آب (in.aqu) و فوت ستون آب (ft.wc)

نکته: Hg علامت اختصاری جیوه است. H_2O فرمول شیمیایی آب است.

wc مخفف Water Column به معنی ستون آب است. aqu مخفف aqua به معنای آب می‌باشد. ریشه کلمات اکوستات و آکواریوم از همین کلمه است. دین (dyne) واحد نیرو می‌باشد هر دین معادل ۱ $\frac{gr\times cm}{s^2}$ است. هر نیوتن ($\frac{Kg.m}{s^2}$) برابر با ۱۰۰۰۰۰ (10^5) دین است. نیوتن را دین بزرگ می‌گفته‌اند.

طرز استفاده از جدول تبدیل واحد فشار

به طور مثال می‌خواهیم یک آتمسفر را به واحدهای دیگر تبدیل کنیم. دربالای جدول ۱-۵ atm را پیدا می‌کنیم atm بالای ستونی قرار دارد، در ستون زیر atm به جستجوی عدد ۱ می‌پردازیم. عدد ۱ مفهوم یک آتمسفر است. در سمت چپ ۱atm عدد ۱۰۱/۳۲۵ را می‌توانیم مشاهده کنیم. عدد ۱۰۱/۳۲۵ در زیر Pascal قرار دارد یعنی هر آتمسفر معادل ۱۰۱/۳۲۵ پاسکال است.

در سمت راست ۱atm اعداد دیگری قابل رویت است که واحد آن‌ها را در بالای ستون مشاهده می‌کنید. اولین عدد در سمت راست ۱atm عدد ۱/۰۱۳۲۵ است، که واحد آن bar (بار) می‌باشد. یعنی ۱atm برابر با ۱/۰۱۳۲۵ بار است و بقیه اعداد به شرح زیر است.

$$1atm = 1/033\,23 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$1atm = 14/6960\,psi = 760\,mm.Hg$$

$$= 29/921\,in.Hg = 1013/250 \frac{dyne}{cm^2}$$

تمرین: ۲۵ بار چند کیلو پاسکال است؟

با مراجعه به جدول ۱-۵ در زیر ستون bar عدد ۱ را پیدا می‌کنیم. پاسکال در سمت چپ بار قرار دارد. در ردیفی که عدد bar وجود دارد به سمت چپ می‌رویم و عدد زیر Pascal را می‌خوانیم. این عدد برابر 10^5 است یعنی هر بار 10^5 پاسکال می‌باشد.

$$1bar = 10^5\ Pa$$

پیشوند کیلو به معنی ۱۰۰۰ می‌باشد پس کیلوپاسکال (kpa) برابر ۱۰۰۰Pa است.

$$1kpa = 1000\ pa = 10^3\ pa$$

$$1bar = \frac{10^5}{10^3} = 10^5 \div 10^3 = 10^{5-3} = 10^2 = 100\ kpa$$

$$\boxed{1bar = 10^5\ pa} \qquad \boxed{1bar = 100\ kpa}$$

$$25\,bar = ?\ kpa \qquad 25 \times 100 = 2500\ kpa$$

تمرین: ۱۴۷psi چند atm است؟

از جدول ۱-۵ ضریب تبدیل psi به آتمسفر را به دست می‌آوریم. هر psi برابر ۰/۰۶۸۰۴۶ آتمسفر است. پس خواهیم داشت:

$$\begin{cases} 1psi = 0/068046\,atm \\ 147\,psi \qquad ?\,atm \end{cases} \Rightarrow \frac{147\ \cancel{psi} \times 0/068046\,atm}{1\ \cancel{psi}}$$

$$147 \times 0/068046 = 10\,atm$$

تمرین: ۱۵psi چند in.Hg است؟

(جواب: ۳۰/۵۴in.Hg)

تمرین: ۴ bar چند psi است؟ (جواب: ۵۸ psi)

تمرین: فشار هوا در کنار دریا چند میلی‌متر جیوه است؟ (جواب: ۷۶۰mm.Hg)

تمرین: جدول زیر را کامل کنید.

فشار آب شهر: ..... bar	..... atm
فشار کپسول پر اکسیژن: ..... bar	..... psi
فشار کپسول پر استیلن: ..... bar	..... kpa
فشار هوا در ارتفاع ۳۰۰۰ متری: ..... in.Hg	..... psi
فشار در کف مخزن آب با ۵m آب: ..... bar	..... $\frac{kg}{cm^2}$

نکته: به ازای هر ۱۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا فشار هوا ۸/۴mm.Hg یا ۰/۳۳ in.Hg کاهش می‌یابد. هر ۱۰ متر ستون آب (۱۰m.WC) تقریباً معادل ۱ آتمسفر و تقریباً ۱bar است.

پرسش: به چه علت در آب گرم کن‌ها لوله خروج آب گرم را در بالای آن نصب می‌کنند؟

تحقیق: همان‌طور که می‌دانید لوله‌ی ورود آب گرم به رادیاتور را به اتصال بالای رادیاتور وصل می‌کنیم و لوله‌ی برگشت آب گرم را به اتصال پائین رادیاتور متصل می‌کنیم. ورود آب گرم به رادیاتور را تا خروج آن از رادیاتور با توجه به دمای آب و جرم مخصوص آب بررسی کنید و نتیجه‌ی آن را یادداشت نمائید.

واحد افت فشار در سیستم SI پاسکال در یک متر طول لوله ($\frac{pa}{m}$) است. افت فشار $۲۰۰\frac{pa}{m}$ یعنی در هر متر طول لوله‌کشی فشار ۲۰۰ پاسکال کم می‌شود.

مقدار افت فشار: در محاسبه سیستم حرارت مرکزی افت فشار را $۲\frac{ft}{۱۰۰ft}$ تا $۳\frac{ft}{۱۰۰ft}$ یا $۲۰۰\frac{pa}{m}$ تا $۳۰۰\frac{pa}{m}$ در نظر می‌گیرند.

تمرین: اگر افت فشار در شبکه لوله‌کشی را $۲۰۰\frac{pa}{m}$ در نظر بگیریم. در صورتی‌که مجموع طول لوله‌های رفت و برگشت ۱۵۰ متر باشد. افت فشار در طول مسیر را محاسبه کنید.

طول لوله‌کشی $= L = ۱۵۰m$

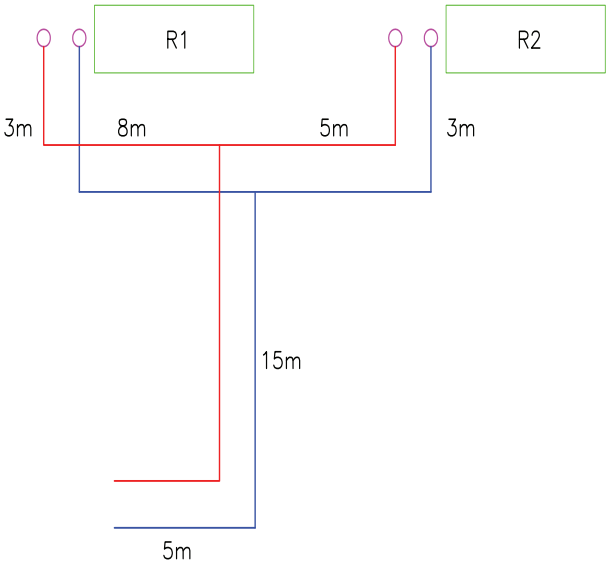
افت فشار متوسط در شبکه لوله‌کشی $= ۲۰۰\frac{pa}{m}$

افت فشار در طول مسیر $= ۲۰۰\frac{pa}{\cancel{m}} \times ۱۵۰\cancel{m} = ۳۰۰۰۰pa$

$۳۰۰۰۰ \div ۱۰۰۰ = \frac{۳۰\cancel{۰۰۰}}{۱\cancel{۰۰۰}} = ۳۰\,kpa$ $\qquad ۱kpa = ۱۰۰۰pa$

تمرین: افت فشار در شبکه لوله‌کشی (لوله‌های رفت و برگشت) زیر را بدست آورید. (افت فشار را $۳۰۰\frac{pa}{m}$ در نظر بگیرید)

جواب: ۲۳/۴kpa



تمرین: مجموع طول لوله‌های رفت و برگشت شبکه لوله‌کشی ساختمانی ۳۴۰m است. اگر افت فشار را $۲۰۰\frac{pa}{m}$ در نظر بگیریم، مقدار افت فشار در این سیستم لوله‌کشی چند پاسکال و چند psi می‌باشد.

(جواب: ۹/۸۶ psi)

تمرین: دبی حجمی‌لوله‌ای $۶\frac{l}{s}$ می‌باشد آن‌را برحسب $\frac{gal}{min}$ محاسبه کنید.

$$۶\frac{l}{s}=?\frac{gal}{min}\ (g.p.m)$$

نکته: گالن بر دو نوع است ۱- گالن آمریکایی که معادل ۳/۷۸۵ لیتر است.

۲- گالن سلطنتی که معادل ۴/۵۴۶ لیتر است. اگر پسوند گالن گفته نشود منظور گالن آمریکایی است.

$$۱\,gal=۳/۷۸۵\,lit \qquad ۱\,min=۶۰S$$

$$lit=\frac{۱}{۳/۷۸۵}gal$$

$$S=\frac{۱}{۶۰}min$$

$$۶\frac{l}{s}=۶\frac{\frac{۱}{۳/۷۸۵}gal}{\frac{۱}{۶۰}min}$$

$$۶\times\frac{۶۰}{۳/۷۸۵}\frac{gal}{min}=\frac{۳۶۰}{۳/۷۸۵}\frac{gal}{min}=۹۵/۱۱\frac{gal}{min}$$

گالن بر دقیقه ($\frac{gal}{min}$) را با g.p.m نیز نشان می‌دهند.

تمرین: ۱۲۰ گالن در ساعت چند گالن در دقیقه است؟

$$۱۲۰\frac{gal}{hr}=?\frac{gal}{min}$$

$$۱۲۰\frac{gal}{hr}=۱۲۰\frac{gal}{۶۰\,min}=\frac{۱۲۰}{۶۰}\frac{gal}{min}$$

$$=۲\frac{gal}{min}=۲\,gpm$$

تمرین: ۱۲ لیتر در ثانیه را به متر مکعب در ساعت تبدیل کنید؟ (جواب: $۴۳/۲\frac{m^۳}{hr}$)

تمرین: $۱۵\frac{m^۳}{hr}$ را برحسب $\frac{l}{s}$ بدست آورید.

(جواب: $۴/۱۶\frac{l}{s}$)

محاسبه دبی حجمی‌آب با استفاده از تلفات گرمایی

برای بدست آوردن قطر لوله‌ها باید در ابتدا دبی حجمی آب جریانی در لوله‌ها را محاسبه کنیم.

برای محاسبه دبی حجمی از رابطه $Q=\frac{H}{۴۶/۵}$ استفاده می‌کنیم. در این رابطه H تلفات گرمایی اتاق یا توان گرمایی رادیاتور بر حسب کیلو وات است و Q دبی حجمی‌آب برحسب $\frac{l}{s}$ می‌باشد.

تمرین: اتلاف گرمایی کلاس درسی ۱۱۶۲۵w می‌باشد، مقدار آب جریانی (دبی) رادیاتور این کلاس چند $\frac{l}{s}$ است؟

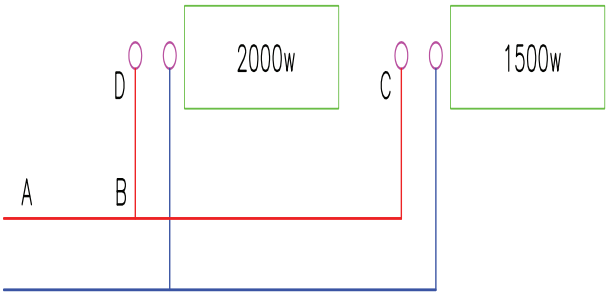
در فرمول H را باید برحسب کیلووات قرار دهیم.

$$Q=\frac{H}{۴۶/۵}$$

$$H=۱۱۶۲۵\,w \qquad ۱kw=۱۰۰۰\,w$$

$$۱۱۶۲۵\div۱۰۰۰=۱۱/۶۲۵\,kw$$

$$Q=\frac{۱۱/۶۲۵}{۴۶/۵}=\frac{۱۱۶/۲۵}{۴۶۵}=\frac{۱۱۶۲۵}{۴۶۵۰۰}=۰/۲۵\,\frac{l}{s}$$



تمرین: دبی حجمی‌آب در لوله‌های زیر را محاسبه کنید.

آب گرم عبوری از لوله AB باید دو رادیاتور را تغذیه کند. توان گرمایی این دو رادیاتور برابر است با:

$$H_R=۲۰۰۰+۱۵۰۰=۳۵۰۰\,w$$

حال توان گرمایی را به کیلووات تبدیل می‌کنیم و در رابطه $Q=\frac{H}{۴۶/۵}$ قرار می‌دهیم.

$$H_R=۳۵۰۰w \qquad H_R=۳۵۰۰\div۱۰۰۰=۳/۵\,kw$$

$$Q_{AB}=\frac{۳/۵}{۴۶/۵}=۰/۰۷۵\,\frac{l}{s}$$

دبی آب در لوله AB معادل ۰/۰۷۵ لیتر بر ثانیه است.

برای محاسبه دبی آب لوله BD که آب گرم رادیاتور ۲۰۰۰ واتی را تغذیه می‌کند باید ۲۰۰۰ وات را بر حسب kw تبدیل کرده و در رابطه $Q=\frac{H}{۴۶/۵}$ قرار دهیم.

$$H_R=۲۰۰۰\,w \qquad H_R=۲۰۰۰\div۱۰۰۰=۲\,kw$$

$$Q_{BD}=\frac{۲}{۴۶/۵}=۰/۰۴۳\,\frac{l}{s}$$

دبی آب در لوله BC باید برای گرم کردن رادیاتور ۱۵۰۰ واتی مناسب باشد. پس خواهیم داشت:

$$H_R=۱۵۰۰\,w \qquad H_R=۱۵۰۰\div۱۰۰۰=۱/۵\,kw$$

$$Q_{BC}=\frac{H}{۴۶/۵}=\frac{۱/۵}{۴۶/۵}=۰/۰۳۲\,\frac{L}{S}$$

اگر دبی لوله BC و BD را با هم جمع کنیم دبی لوله AB بدست می‌آید.

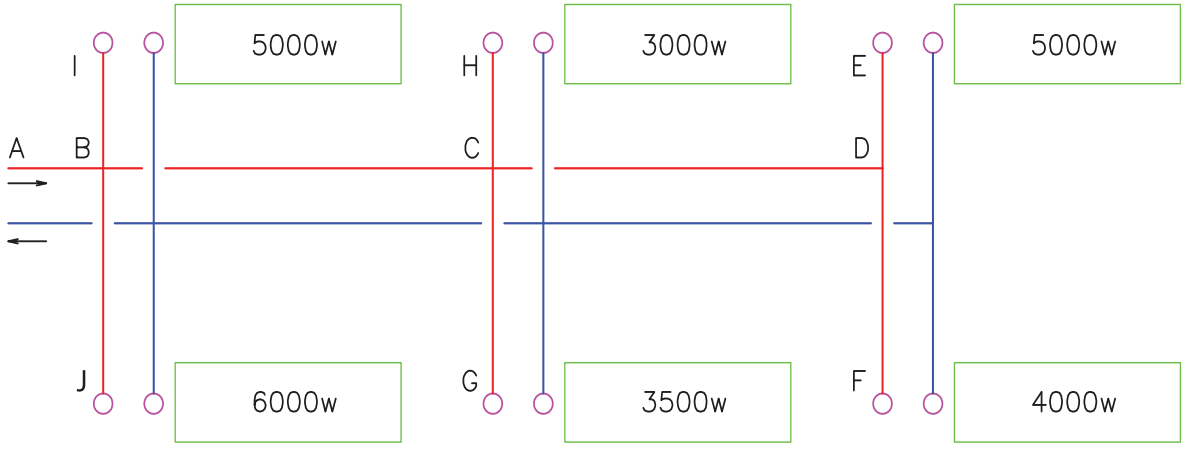
$$Q_{AB}=۰/۰۳۲+۰/۰۴۳=۰/۰۷۵\,\frac{l}{s}$$

$$Q_{BC}=۰/۰۳۲\,\frac{l}{s} \qquad Q_{BD}=۰/۰۴۳\,\frac{l}{s}$$

در بخش اول محاسبه نیز دبی لوله‌ی AB را ۰/۰۷۵ لیتر بر ثانیه بدست آوردیم.

تمرین: اتلاف گرمایی اتاقی $۳۵۰۰\,\frac{kcal}{hr}$ است. دبی حجمی آب را محاسبه کنید. (جواب: $۰/۰۸۷\,\frac{l}{s}$)

تمرین: دبی حجمی لوله AB را محاسبه کنید. (جواب: $۰/۵۷ \frac{l}{s}$)

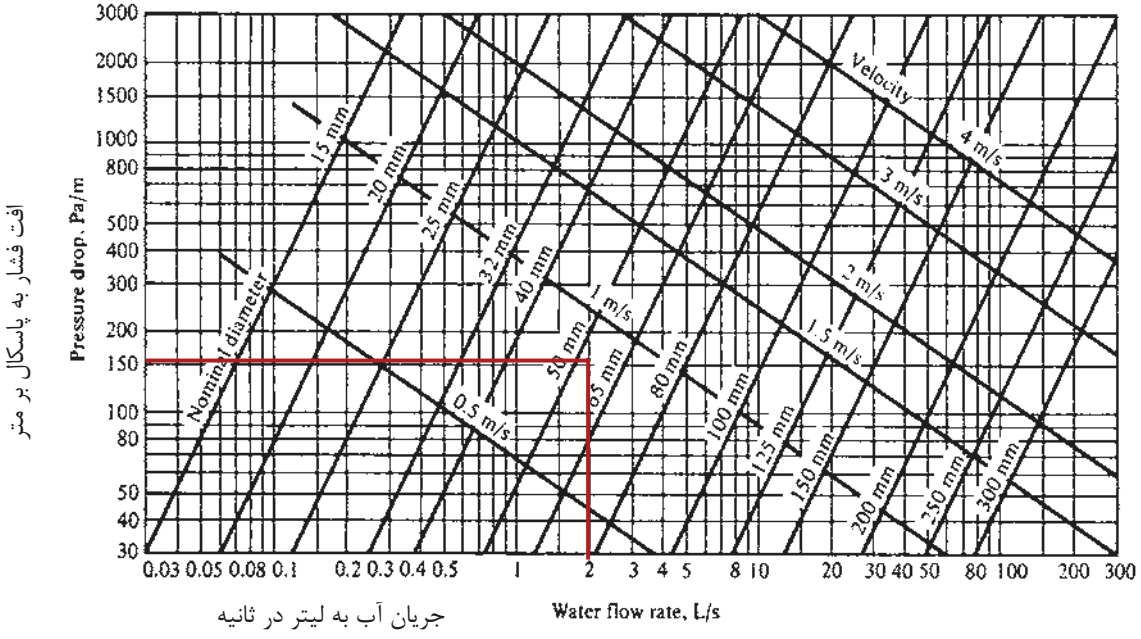


تمرین: دبی حجمی لوله‌هایی که در جدول زیر مشخص شده است را محاسبه کنید. (به شکل تمرین قبل توجه کنید.)

نام لوله	تلفات گرمایی kw	دبی حجمی $\frac{l}{s}$
DE		
DF		
CH		
CG		
CD		
BC		
BI		
BJ		

محاسبه قطر لوله‌ها در سیستم حرارت مرکزی با آب گرم

با استفاده از نمودار شکل ۴-۵ می‌توان قطر لوله‌ها را به دست آورد. برای این کار باید دبی حجمی آب را برحسب $\frac{l}{s}$ و افت فشار را بر حسب $\frac{pa}{m}$ داشته باشیم. فرض کنید دبی حجمی آب لوله‌ای برابر $۲\ \frac{l}{s}$ است. برای محاسبه قطر این لوله بر روی محور افقی عدد $۲\ \frac{l}{s}$ را پیدا می‌کنیم. بر روی محور عمودی میزان افت فشار را که مقدار آن $۲۰۰\ \frac{pa}{m}$ تا $۳۰۰\ \frac{pa}{m}$ می‌باشد را پیدا می‌کنیم. در این مثال افت فشار را $۲۰۰\ \frac{pa}{m}$ در نظر می‌گیریم. عدد ۲۰۰ را به صورت افقی در داخل نمودار امتداد می‌دهیم. از طرف دیگر عدد $۲\ \frac{l}{s}$ را به صورت عمودی به طرف بالا امتداد داده تا خط افقی مربوط به ۲۰۰ را قطع کند. از برخورد این دو خط نقطه‌ای به وجود می‌آید. محل قرارگیری این نقطه قطر لوله را مشخص می‌کند. در این مثال نقطه بر روی خط مورب ۵۰mm واقع شده است در نتیجه قطر این لوله ۵۰mm (۲″) است.



شکل ۴-۵- نمودار دبی ـ افت فشار

نکته: فرمول $Q = A \times V$ رابطه پیوستگی نام دارد

در این رابطه Q دبی برحسب $\frac{m^3}{s}$ و A سطح مقطع لوله برحسب m^2 و V سرعت آب بر حسب $\frac{m}{s}$ است.

$$Q = A \times V = m^2 \times \frac{m}{s} = \frac{m^3}{s}$$

سطح مقطع لوله (A) از رابطه مساحت دایره یعنی $A = \frac{D^2\pi}{4}$ بدست می‌آید که در آن D قطر لوله است.

در رابطه پیوستگی ($Q = A \times V$) اگر سرعت را زیاد کنیم و بخواهیم دبی ثابت باشد باید سطح مقطع را کم کنیم.

اگر سرعت یا قطر زیاد شود، مقدار گذر آب (دبی) نیز افزایش می‌یابد.

تمرین: اگر قطر لوله را دو برابر کنیم دبی چقدر افزایش می‌یابد؟

$$Q = A \times V \qquad A = \frac{\pi \times D^2}{4} \qquad Q = \frac{\pi \times D^2}{4} \times V$$

اگر قطر ۲ برابر شود به جای D باید D ۲ را قرار دهیم.

$$Q = \frac{\pi \times (2D)^2}{4} \times V = \frac{\pi \times 4D^2}{4} \times V = \pi D^2 \times V$$

$\pi D^2 \times V$ نسبت به $\frac{\pi D^2}{4} \times V$ چهار برابر است یعنی با دو برابر شدن قطر، دبی ۴ برابر می‌شود.

پرسش: اگر قطر را ۱/۵ برابر کنیم دبی چند برابر می‌شود؟

پرسش: اگر سرعت را دو برابر کنیم دبی چند برابر می‌شود؟

تمرین: دبی آب عبوری از لوله ای به قطر ۱۰cm را با سرعت $۲ \frac{m}{s}$ محاسبه کنید؟

$$Q = A \times V \qquad A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$D = ۱۰cm \qquad V = ۲ \frac{m}{s}$$

قطر را برحسب متر در فرمول قرار می‌دهیم.

$$۱m = ۱۰۰cm \qquad ۱۰ \div ۱۰۰ = \frac{۱\not{۰}}{۱۰\not{۰}} = ۰/۱m$$

$$Q = \frac{۳/۱۴ \times (۰/۱)^2}{\not{۴}} \times \not{۲}$$

$$Q = \frac{۳/۱۴ \times ۰/۰۱}{۲} = ۰/۰۱۵ \frac{m^3}{s}$$

تمرین: در تمرین قبل اگر قطر را ۲ برابر کنیم دبی آب عبوری از لوله را محاسبه کنید.

$$D = ۲ \times ۱۰ = ۲۰cm \qquad ۲۰ \div ۱۰۰ = ۰/۲m$$

$$Q = \frac{۳/۱۴ \times (۰/۲)^2}{\not{۴}} \times \not{۲}$$

$$Q = \frac{۳/۱۴ \times ۰/۰۴}{۲} = ۰/۰۶ \frac{m^3}{s}$$

مشاهده می‌کنید که با دو برابر کردن قطر دبی از $۰/۰۱۵ \frac{m^3}{s}$ به $۰/۰۶ \frac{m^3}{s}$ افزایش یافته یعنی ۴ برابر شده است:

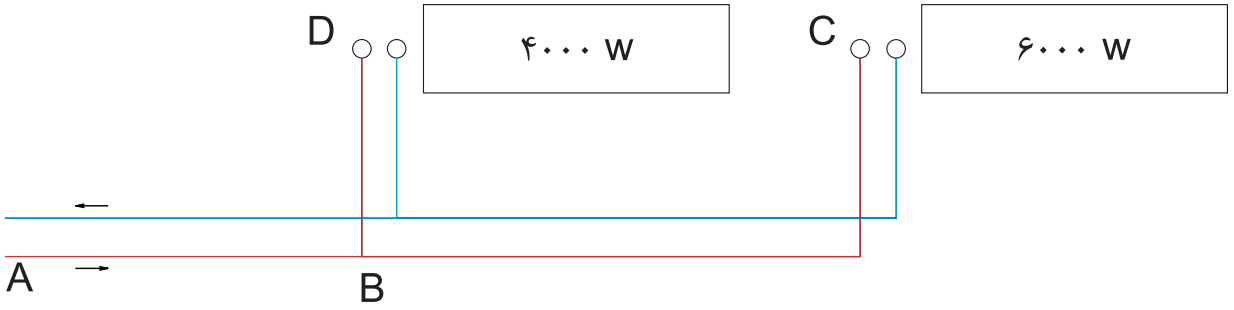
$$۰/۰۶ \div ۰/۰۱۵ = \frac{۰/۰۶}{۰/۰۱۵} = \frac{\frac{۶}{۱۰۰}}{\frac{۱۵}{۱۰۰۰}} = \frac{۶\times۱۰۰۰}{۱۵\times۱۰۰} = \frac{۶۰\cancel{۰}}{۱۵\cancel{۰}} = ۴$$

تمرین: دبی آب عبوری از لوله ای $۱/۹۶۲۵ \frac{l}{s}$ است اگر سرعت آب $۴ \frac{m}{s}$ باشد قطر لوله را برحسب میلی‌متر بدست آورید. (جواب: ۲۰۰mm)

تمرین: دبی حجمی آب در لوله‌ای $۱/۵ \frac{l}{s}$ و سرعت آب $۱ \frac{m}{s}$ است، قطر این لوله را برحسب in بدست آورید. (جواب: ۲")

تمرین: تلفات گرمایی اتاقی ۲۳۲۵w است. اگر در این اتاق یک رادیاتور نصب شود، قطر لوله رفت و برگشت آب گرم این رادیاتور را بدست آورید. افت فشار را $۲۰۰ \frac{pa}{m}$ در نظر بگیرید. (جواب: ۱۵mm)

تمرین: قطر لوله‌های مدار زیر را محاسبه کنید. (افت فشار در لوله‌ها را $۲۰۰\frac{pa}{m}$ در نظر بگیرید.)



برای محاسبه قطر هر لوله باید دبی آب عبوری از آن لوله را داشته باشیم. لوله‌ی BC آب گرم مورد نیاز رادیاتور ۶۰۰۰w را تأمین می‌کند. دبی آب عبوری از لوله BC برابر است با:

$$Q=\frac{H}{۴۶/۵} \qquad H=۶۰۰۰w=۶kw$$

$$Q_{BC}=\frac{۶}{۴۶/۵}=۰/۱۳\frac{l}{s}$$

برای لوله‌های BD و AB نیز دبی را محاسبه می‌کنیم.

$$Q_{BD}=\frac{۴}{۴۶/۵}=۰/۰۸\frac{l}{s}$$

$$Q_{AB}=\frac{۶+۴}{۴۶/۵}=\frac{۱۰}{۴۶/۵}=۰/۲۱\frac{l}{s}$$

برای محاسبه دبی لوله AB می‌توانستیم دبی لوله BC و BD را با هم جمع کنیم.

$$Q_{AB}=Q_{BC}+Q_{BD}=۰/۱۳+۰/۰۸=۰/۲۱\frac{l}{s}$$

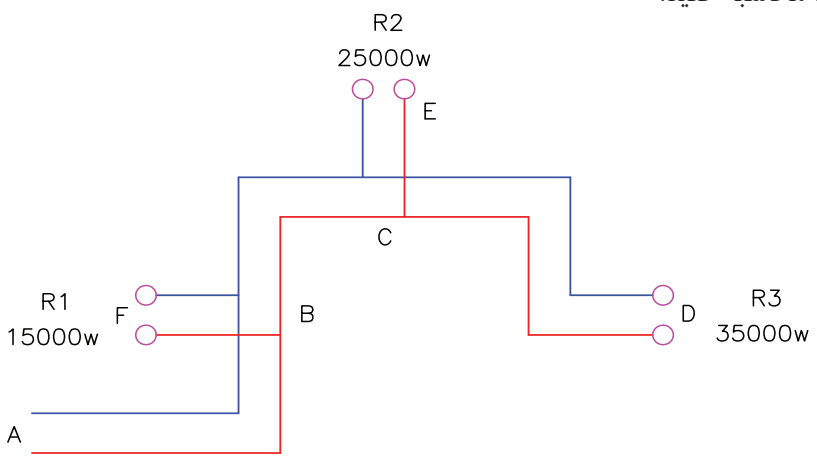
اکنون با داشتن دبی هر لوله و افت فشار $۲۰۰\frac{pa}{m}$ به نمودار شکل ۴-۵ مراجعه می‌کنیم و قطر هر لوله را بدست می‌آوریم.

$$\begin{cases} Q_{BC}=۰/۱۳\frac{l}{s} \\ \text{افت فشار}=۲۰۰\frac{pa}{m} \end{cases} \xrightarrow{\text{نمودار شکل ۴-۵}} d_{BC}=۲۰mm$$

$$\begin{cases} Q_{BD}=۰/۰۸\frac{l}{s} \\ \text{افت فشار}=۲۰۰\frac{pa}{m} \end{cases} \xrightarrow{\text{نمودار شکل ۴-۵}} d_{BD}=۱۵mm$$

$$\begin{cases} Q_{AB}=۰/۲۱\frac{l}{s} \\ \text{افت فشار}=۲۰۰\frac{pa}{m} \end{cases} \xrightarrow{\text{نمودار شکل ۴-۵}} d_{AB}=۲۵mm$$

تمرین: قطر لوله‌های مدار زیر را در صورتی که افت فشار $\frac{pa}{m}$ ۲۰۰ باشد، محاسبه کنید.



برای محاسبه قطر لوله‌های این مدار می‌بایستی قطر رایزرها (لوله‌های قائم) که آب گرم را از لوله‌های افقی به طبقات بالا می‌برد، محاسبه کنیم و سپس قطر لوله‌های افقی را بدست می‌آوریم. برای اینکه محاسبات در یک جا متمرکز شود و از پراکندگی محاسبات جلوگیری کنیم، محاسبات را در جدول ۳-۵ وارد می‌کنیم. در ستون اول نام مسیر یا شماره رایزر را می‌نویسیم. در ستون دوم بار گرمایی که از طریق این مسیر باید تأمین شود. در ستون سوم با استفاده از رابطه $Q=\frac{H}{۴۶/۵}$ دبی آب گرم عبوری از این مسیر را محاسبه و می‌نویسیم. افت فشار در تمام طول لوله‌های رفت و برگشت آب گرم برابر $\frac{pa}{m}$ ۲۰۰ می‌باشد. می‌توانیم مقدار افت فشار را با توجه به یکسان بودن در تمام مسیرها در داخل جدول وارد نکنیم و یکبار مقدار آن‌را در بالای جدول بنویسیم.

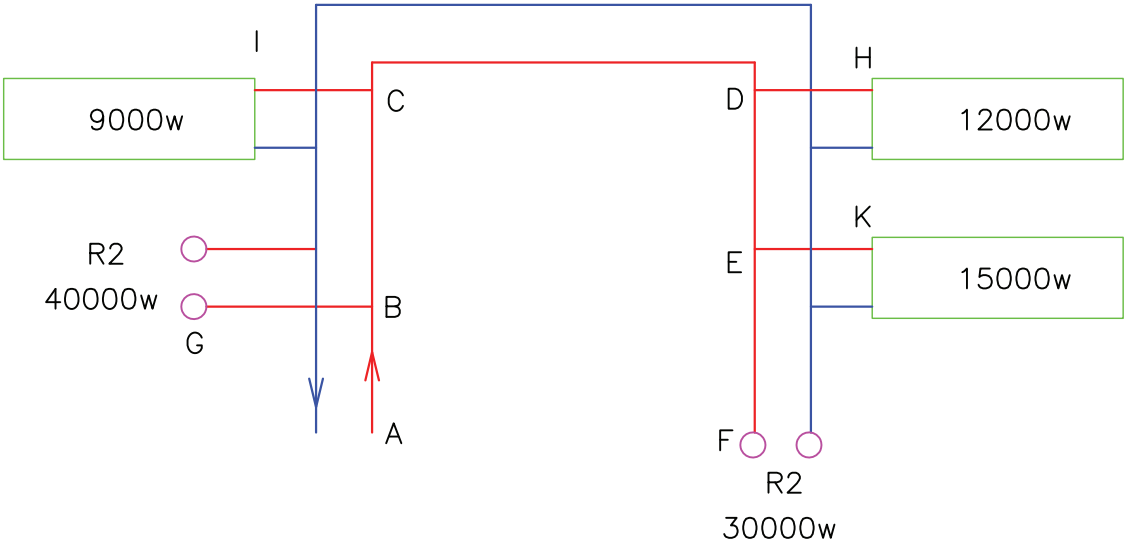
با مراجعه به نمودار دبی و افت فشار شکل ۴-۵ قطر هر رایزر و قطر لوله‌های افقی رفت و برگشت آب گرم را به دست می‌آوریم و در ستون آخر جدول وارد می‌کنیم.

دبی آب رایزر R۱ با لوله BF برابر است پس قطر آن‌ها نیز با هم یکسان می‌باشد چون آب گرمی که وارد لوله‌ی BF می‌شود بدون هیچ تغییری در دبی آن وارد رایزر R۱ می‌شود. این موضوع در رایزر R۲ و لوله CE و همچنین رایزر R۳ و لوله CD نیز صادق است.

جدول ۳-۵

نام مسیر	بار گرمایی مسیر (H) kw	دبی $\frac{l}{s}$ $Q=\frac{H}{۴۶/۵}$	افت فشار $\frac{pa}{m}$	قطر mm
R۳	۳۵	۰/۷۵	۲۰۰	۴۰
R۲	۲۵	۰/۵۳	۲۰۰	۳۲
R۱	۱۵	۰/۳۲	۲۰۰	۲۵
CD	۳۵	۰/۷۵	۲۰۰	۴۰
CE	۲۵	۰/۵۳	۲۰۰	۳۲
BC	۶۰	۱/۲۹	۲۰۰	۵۰
BF	۱۵	۰/۳۲	۲۰۰	۲۵
AB	۷۵	۱/۶۱	۲۰۰	۵۰

تمرین: قطر لوله‌های مدار زیر را در صورتی که افت فشار در لوله‌ها $۲۵۰ \frac{pa}{m}$ باشد، محاسبه کنید. محاسبات را در جدول وارد کنید.



افت فشار به طور متوسط در شبکه لوله‌کشی: $۲۵۰ \frac{pa}{m}$

نام مسیر	بارگرمایی مسیر H kw	دبی $\frac{l}{s}$ $Q=\frac{H}{۴۶/۵}$	قطر mm
A-B			
R۱	۴۰		
B-G	۴۰		
B-C			
C-I			
C-D	۵۷		
D-H	۱۲	۰/۲۵	۲۵
D-E			
E-J			
E-F			
R۲	۳۰		

محاسبه افت فشار در شبکه لوله‌کشی

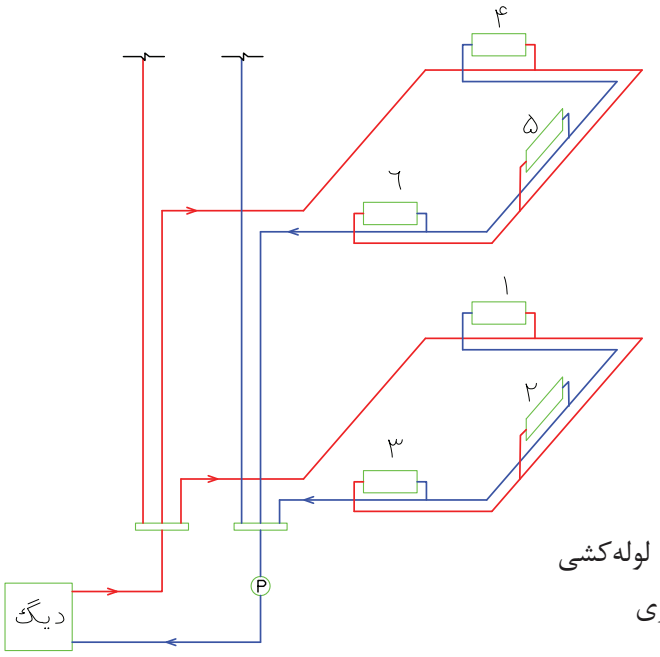
در شکل ۵-۵ سیستم لوله‌کشی با برگشت معکوس انجام شده است.

پرسش: دستگاه‌های پخش‌کننده در این شکل در چند طبقه نصب شده‌اند؟

آب گرم خروجی از دیگ وارد یک کلکتور می‌شود. آب گرم از این کلکتور به دو طبقه جریان می‌یابد و به رادیاتورهای هر طبقه می‌رسد و پس از تبادل گرما در اتاق‌ها آب برای گرم شدن بایستی به دیگ آب گرم بر گردد و مجدد به رادیاتورها جریان یابد.

برای گردش آب گرم بین دیگ و رادیاتور از پمپ استفاده می‌شود. این پمپ باید قادر باشد آب را به دورترین رادیاتور برساند و آب گرم برگشتی را نیز به دیگ برگرداند یعنی باید افت فشار لوله‌های رفت و لوله‌های برگشت و افت فشار فیتینگ‌ها و شیرها را جبران کند.

پرسش: شماره‌ی دورترین رادیاتور در شکل ۵-۵ را مشخص کنید.



شکل ۵-۵- سیستم لوله‌کشی حرارت مرکزی

اگر پمپ بتواند آب گرم را بین دیگ و دورترین رادیاتور به گردش در آورد قادر خواهد بود که آب گرم را به سایر رادیاتورها نیز برساند.

برای محاسبه افت فشار در شبکه لوله‌کشی حرارت مرکزی باید طول لوله‌ی رفت دورترین رادیاتور را با طول لوله برگشت این رادیاتور جمع کنیم.

برای در نظر گرفتن افت فشار فیتینگ‌ها و شیرها ۵۰ درصد طول لوله‌ی رفت و برگشت را به عنوان هم‌ارز طولی فیتینگ‌ها و شیرها در نظر می‌گیرند.

مجموع طول لوله رفت و برگشت $= L + L = ۲ L$

هم‌ارز طولی فیتینگ‌ها و شیرها $= ٪۵۰ \times ۲L = \frac{۵۰}{۱۰۰} \times ۲L = L$

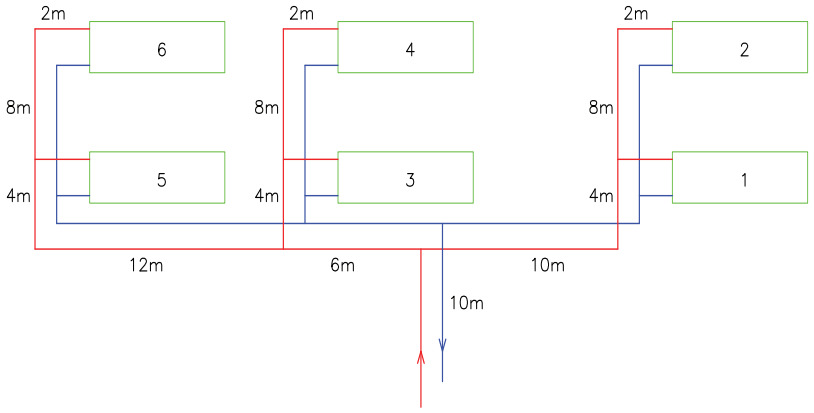
مجموع طول لوله رفت و برگشت و هم‌ارز طولی فیتینگ‌ها و شیرها $= ۲ L + L = ۳L$

در هر متر از لوله‌کشی ۲۰۰ Pa تا ۳۰۰ Pa از فشار کاسته می‌شود یعنی افت فشار $۲۰۰ \frac{pa}{m}$ تا $۳۰۰ \frac{pa}{m}$ است. اگر افت فشار را ۲۰۰ پاسکال در هر متر طول لوله در نظر بگیریم، افت فشار در مسیر دورترین رادیاتور برابر است با:

افت فشار در مقاوم‌ترین (دورترین) مسیر $= ۳ L \times ۲۰۰ = ۶۰۰ L$

تمرین: در شکل زیر طول لوله‌های رفت و برگشت رادیاتورهای ۱ تا ۶ را محاسبه کنید و در جدول زیر وارد کنید.

به نظر شما طولانی‌ترین مسیر مربوط به کدام رادیاتور است؟



مسیر رادیاتور شماره	طول مسیر m
۱	۲۶
۲	
۳	
۴	
۵	
۶	

در تمرین قبل دورترین رادیاتور ساختمان رادیاتور شماره ۶ است که طول لوله‌ی رفت (L) آن ۴۲m است.

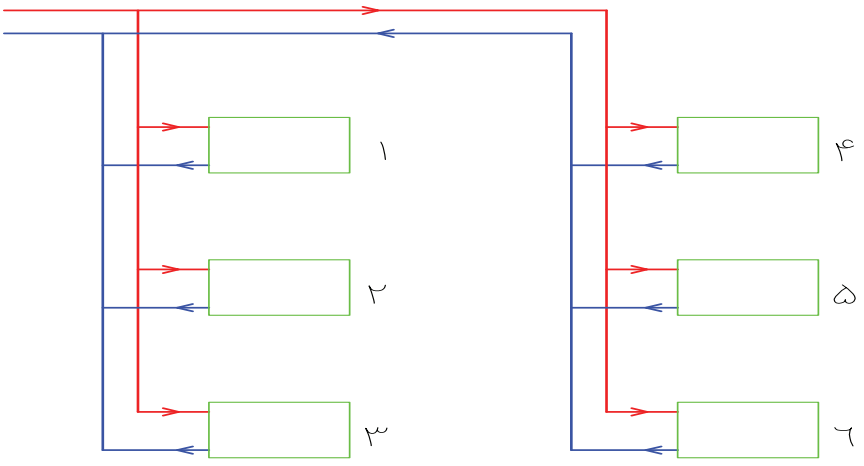
میزان افت فشار در مسیر رادیاتور شماره ۶ برابر است با:

$L = ۴۲m$

افت فشار در مسیر رادیاتور شماره‌ی۶ = $۶۰۰L = ۶۰۰\times۴۲ = ۲۵۲۰۰pa$

تمرین: افت فشار در طول مسیر رادیاتورهای شکل زیر را محاسبه کنید و در جدول زیر وارد نمائید.

به نظر شما مسیر کدام رادیاتور افت فشار بیشتری دارد؟



مسیر رادیاتور شماره	طول لوله رفت m	افت فشار kpa
۱	۲۵	
۲	۲۸	
۳	۳۲	
۴	۴۵	
۵	۴۹	
۶	۵۲	۳۱/۲

در تمرین قبل ملاحظه کردید که طولانی‌ترین مسیر مربوط به رادیاتور شماره ۶ است که طول لوله‌ی رفت آن ۵۲m می‌باشد و افت فشار آن ۳۱/۲ کیلو پاسکال (kpa) است.

تمرین: اگر فشار در ابتدای مسیر لوله‌کشی تمرین قبل ۱bar باشد فشار در انتهای مسیر را محاسبه کنید.

فشار در ابتدای مسیر ۱bar است آن را باید به کیلوپاسکال (kpa) تبدیل کنیم. از جدول ۱-۵ ضریب تبدیل بار به پاسکال را بدست می‌آوریم.

$۱bar = ۱۰^{۵} pa = ۱۰۰۰۰۰ pa = ۱۰۰ kpa$

آب گرم با فشار $۱۰^{۵} pa$ در طول مسیر با ۳۱/۲ کیلوپاسکال افت فشار مواجه می‌شود. این کاهش فشار به دلیل اصطکاک آب درون لوله‌های رفت و برگشت و فیتینگ‌ها و شیرها می‌باشد. میزان فشار باقیمانده در انتهای مسیر برابر است با:

افت فشار – فشار در ابتدای مسیر = فشار در انتهای مسیر

افت فشار = ۳۱/۲ kpa

فشار در انتهای مسیر = ۱۰۰ kpa - ۳۱/۲ kpa = ۶۸/۸ kpa

تمرین: طول لوله‌ی رفت دورترین رادیاتور در ساختمانی ۸۵ متر می‌باشد. افت فشار لوله‌کشی حرارت مرکزی این ساختمان را برحسب پاسکال، کیلوپاسکال و بار محاسبه کنید. (افت فشار در هر متر لوله‌کشی را $۳۰۰\frac{pa}{m}$ در نظر بگیرید.)

L = ۸۵ m

افت = 3L × افت فشار درهرمتر = 3L ×۳۰۰=۹۰۰L

فشار

افت فشار = ۹۰۰×۸۵ = ۷۶۵۰۰ pa

۱kpa = ۱۰۰۰pa ۷۶۵۰۰÷۱۰۰۰ = ۷۶/۵ kpa

۱bar = ۱۰۰۰۰۰pa = ۱۰۰kpa

$۷۶۵۰۰ \div ۱۰۰۰۰۰ = \frac{۷۶۵۰۰}{۱۰۰۰۰۰} = ۰/۷۶۵ bar$

تذکر: بعضی از تبدیل واحدها را که کاربرد بیشتری دارند بهتر است حفظ کنید.

۱bar = $۱۰^{۵}$ pa ۱atm ≃ ۱۰/۳۳ mwc

۱atm = ۱۴/۷ psi ۱atm = ۱/۰۱bar ≃ ۱bar

تمرین: فشار مورد نیاز برای سیرکولاسیون آب گرم در شبکه لوله‌کشی حرارت مرکزی ساختمانی که طول لوله رفت دورترین رادیاتور آن ۵۰ متر می‌باشد را محاسبه کنید. (افت فشار را $۲۰۰\frac{pa}{m}$ در نظر بگیرید.)

L = ۵۰ m

فشار مورد نیاز = افت فشار = 3L×۲۰۰ = ۳×۵۰×۲۰۰

P = ۳۰۰۰۰pa

برای گردش آب در شبکه لوله‌کشی حرارت مرکزی این ساختمان ۳۰۰۰۰pa یا ۳۰kpa فشار مورد نیاز است که این فشار بایستی توسط پمپ سیرکولاتور تأمین شود به عبارت دیگر پمپ باید افت فشار در مسیر لوله‌کشی را جبران کند.

نکته: به فشاری که پمپ ایجاد می‌کند هِد (Head) پمپ یا ارتفاع آب دهی پمپ می‌گویند و معمولاً آن را بر حسب ارتفاع ستون آب مانند متر آب (m.wc) یا فوت آب (ft.wc) اندازه‌گیری می‌شود.

موتور پمپ جریانی (سیرکولاتور)

اجزاء اصلی موتور پمپ‌های جریانی:

۱- الکتروموتور ۲- پمپ

الکتروپمپ‌های جریانی دارای موتور یک فاز یا سه فاز می‌باشند و پمپ آن‌ها از نوع سانتری فوژ (گریز از مرکز) است.

انواع پمپ جریانی: ۱- خطی (هوایی) ۲- زمینی

مقدار آب‌دهی (دبی) و ارتفاع آب‌دهی (هد) پمپ‌های خطی از پمپ‌های زمینی کم‌تر است.

پمپ‌های خطی به علت سبکی روی لوله نصب می‌شود و پمپ‌های زمینی به علت وزن زیاد بر روی زمین نصب می‌شود.

قدرت مفید پمپ: قدرت جذب شده توسط آب را قدرت مفید پمپ می‌نامند و آن‌را با P_w نشان می‌دهند.

قدرت مفید پمپ از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$P_w = \frac{Q(P_2 - P_1)}{1000}$$

در این رابطه Q دبی حجمی آب برحسب $\frac{l}{s}$ و P_2 فشار آب خروجی از پمپ برحسب پاسکال و P_1 فشار آب ورودی به پمپ بر حسب پاسکال است. اختلاف فشار ورودی و خروجی ($P_2 - P_1$ یا ΔP) مقدار فشاری است که پمپ تولید کرده است به عبارت دیگر ارتفاع آبدهی یا هد پمپ می‌باشد.

P_w قدرت (توان) مفید پمپ برحسب وات است.

تمرین: قدرت مفید پمپی را که دبی آن $۲/۵ \frac{l}{s}$ و ارتفاع آبدهی آن ۲۵kpa می‌باشد محاسبه کنید.

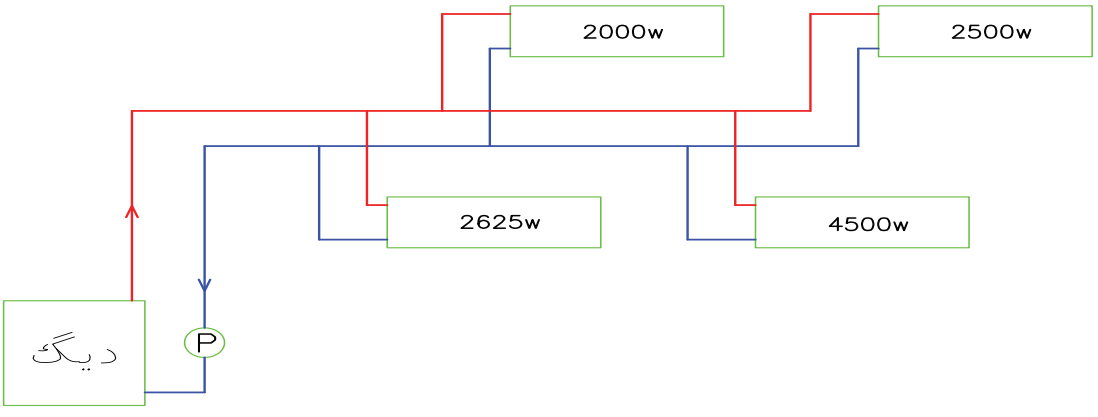
$$P_w = \frac{Q(P_2 - P_1)}{1000} \qquad Q = ۲/۵ \frac{l}{s}$$

$$(P_2 - P_1) = \Delta P = ۲۵\,kpa$$

$$1kpa = 1000pa \qquad ۲۵ \times 1000 = ۲۵۰۰۰pa$$

$$P_w = \frac{۲/۵ \times ۲۵۰۰۰}{1000} = ۲/۵ \times ۲۵ = ۶۲/۵\,w$$

تمرین: دبی آب در مدار لوله‌کشی زیر را محاسبه کنید و سپس قدرت مفید پمپ را به دست آورید. افت فشار مقاوم‌ترین مسیر ۴۰۰۰۰pa می‌باشد.



برای محاسبه قدرت مفید پمپ باید دبی و هد پمپ را داشته باشیم. در متن تمرین افت فشار مقاوم‌ترین مسیر داده شده، که همان هد (ارتفاع آبدهی) پمپ است. پس فقط کافی است که دبی را محاسبه کنیم. دبی این شبکه لوله‌کشی باید جوابگوی آب گرم ۴ رادیاتور باشد، باید از رابطه‌ی $Q=\frac{H}{۴۶/۵}$ دبی را محاسبه کنیم. چون دبی (Q) لوله‌ی اصلی را لازم داریم باید بار گرمایی (H) تمام رادیاتورها را برحسب kw در فرمول قرار دهیم.

$$Q=\frac{H}{۴۶/۵}$$

$$H=۲۵۰۰+۴۵۰۰+۲۰۰۰+۲۶۲۵=۱۱۶۲۵\,w$$

$$۱kw=۱۰۰۰w \qquad ۱۱۶۲۵\div۱۰۰۰=۱۱/۶۲۵\,kw$$

$$Q=\frac{۱۱/۶۲۵}{۴۶/۵}=۰/۲۵\,\frac{l}{s}$$

اکنون قدرت مفید پمپ را محاسبه می‌کنیم.

$$P_w=\frac{Q(P_۲-P_۱)}{۱۰۰۰} \qquad Q=۰/۲۵\,\frac{l}{s}$$

$$(P_۲-P_۱)=۴۰۰۰۰\,pa$$

$$P_w=\frac{۰/۲۵\times۴۰۰۰۰}{۱۰۰۰}=۰/۲۵\times۴۰=۱۰\,w$$

تمرین: قدرت مفید پمپ ساختمانی را محاسبه کنید که آب گرم ۱۲ رادیاتور را به گردش در می‌آورد. طول لوله رفت دورترین رادیاتور ۷۵m و توان گرمایی هر رادیاتور ۳۸۷۵w می‌باشد. افت فشار را در این سیستم لوله‌کشی ۲۰۰ $\frac{pa}{m}$ در نظر بگیرید.

(جواب: هد پمپ ۴۰۰۰۰pa - دبی پمپ ۱ $\frac{l}{s}$ - قدرت مفید پمپ ۴۵ وات)

محاسبه قدرت مصرفی پمپ

قدرت مصرفی پمپ را بر روی پلاک مشخصات الکتروپمپ می‌نویسند و با توجه به راندمان (بازده) پمپ محاسبه می‌شود. راندمان بر حسب درصد است و مقدار آن از ۱۰۰ درصد کم‌تر است. بازده یا راندمان را با η (اِتا) نشان می‌دهند.

قدرت مصرفی پمپ را با P_b نشان می‌دهند و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{قدرت مصرفی} = \frac{\text{قدرت مفید}}{\text{راندمان}}$$

$$P_b=\frac{P_w}{\eta}$$

راندمان موتور پمپ‌های خطی در حدود ۳۰ درصد تا ۶۰ درصد و راندمان موتور پمپ‌های زمینی در حدود ۸۰ درصد می‌باشد.

تمرین: قدرت مصرفی پمپی را که راندمان آن ۵۰ درصد و قدرت مفید آن ۱۰۰ وات می‌باشد، محاسبه کنید.

$$P_b=\frac{P_w}{\eta} \qquad P_w=۱۰۰w \qquad \eta=٪۵۰=\frac{۵۰}{۱۰۰}=۰/۵$$

$$P_b=\frac{۱۰۰}{۰/۵}=۲۰۰\,w$$

تمرین: اگر راندمان پمپ تمرین قبل ۷۵درصد باشد، قدرت مصرفی چند وات می‌شود؟

$$\eta=٪۷۵=۰/۷۵$$

$$P_b=\frac{۱۰۰}{۰/۷۵}=۱۳۳/۳\,w$$

پرسش: با مقایسه این دو تمرین چه نتیجه‌ای گرفته می‌شود؟

نکته: در صورتیکه قدرت مفید و قدرت مصرفی با هم برابر باشد یعنی تمام قدرت مصرف شده را آب جذب کرده است و راندمان صد در صد می‌باشد. در عمل راندمان ۱۰۰ درصد امکان‌پذیر نمی‌باشد و مقداری از انرژی مصرفی هدر می‌رود.

تمرین: قدرت مفید پمپی ۲۰۰w و قدرت مصرفی آن ۲۵۰w است. راندمان این پمپ را محاسبه کنید.

$$P_b = \frac{P_w}{\eta} \quad \Rightarrow \quad \eta = \frac{P_w}{P_b}$$

$$P_w = ۲۰۰w \qquad P_b = ۲۵۰w$$

$$\eta = \frac{۲۰۰}{۲۵۰} = ۰/۸ = ٪۸۰$$

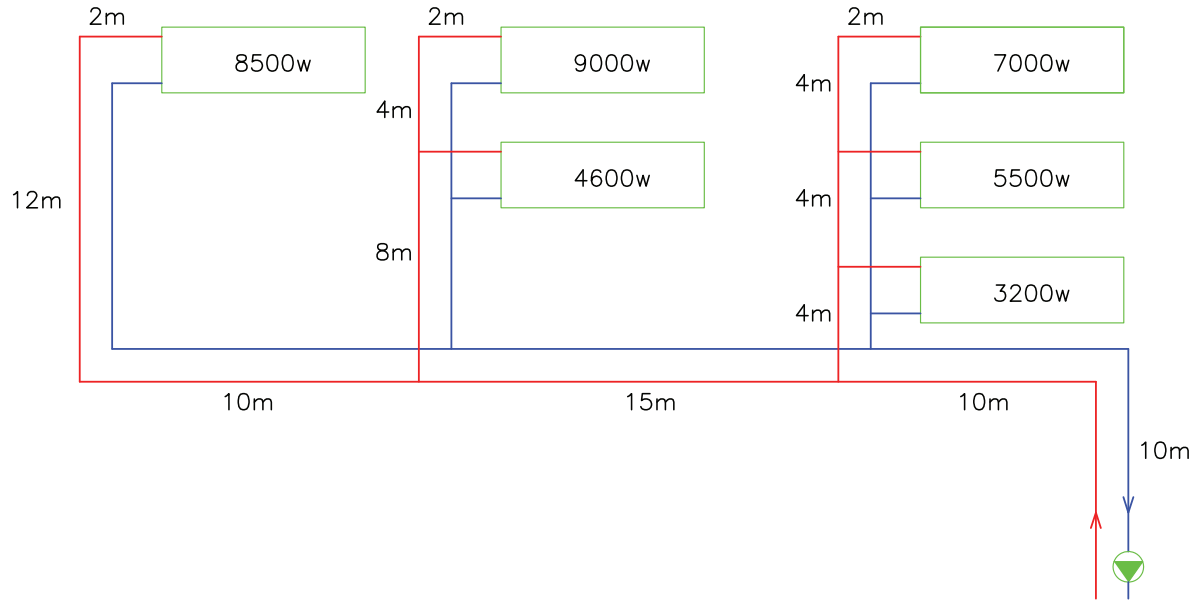
تحقیق: همان‌طور که متوجه شدید با افزایش راندمان میزان هدر رفتن انرژی کمتر می‌شود. با مراجعه به اینترنت درباره روش‌های افزایش راندمان پمپ‌های خطی و زمینی تحقیق کنید و نتیجه آن را با هنرآموز درس تأسیسات حرارتی در میان بگذارید. خلاصه نتیجه تحقیق و روش‌های بالا بردن راندمان پمپ‌ها و کاهش انرژی مصرفی پمپ را در زیر بنویسید.

تمرین: قدرت مصرفی پمپ مدار زیر را محاسبه کنید. افت فشار را ۲۰۰ $\frac{pa}{m}$ و راندمان پمپ را ۶۰ در صد در نظر بگیرید.

ابتدا هد پمپ یا ارتفاع آبدهی پمپ را محاسبه می‌کنیم.

$$L = ۱۰+۱۰+۱۵+۱۰+۱۲+۲ = ۵۹m$$

$$\text{افت فشار} = ۳L \times ۲۰۰ = ۳ \times ۵۹ \times ۲۰۰ = ۳۵۴۰۰pa$$



بنابراین هد پمپ یا اختلاف فشار ورودی و خروجی ($P_2 - P_1$) برابر ۳۵۴۰۰pa است.

برای محاسبه دبی پمپ باید بار گرمایی تمام دستگاه‌های پخش‌کننده را داشته باشیم.

$$Q = \frac{H}{۴۶/۵}$$

$$H = ۳۲۰۰ + ۵۵۰۰ + ۷۰۰۰ + ۴۶۰۰ + ۹۰۰۰ + ۸۵۰۰$$

$$H = ۳۷۸۰۰\,w \qquad ۳۷۸۰۰ \div ۱۰۰۰ = ۳۷/۸\,kw$$

$$Q = \frac{۳۷/۸}{۴۶/۵} = ۰/۸۱\,\frac{l}{s}$$

با داشتن هد پمپ ($P_2 - P_1$) و دبی پمپ (Q) می‌توانیم قدرت مصرفی پمپ را محاسبه کنیم.

$$P_b = \frac{P_w}{\eta} \qquad P_w = \frac{Q(P_2 - P_1)}{۱۰۰۰} \qquad Q = ۰/۸۱\,\frac{l}{s}$$

$$P_2 - P_1 = ۳۵۴۰۰\,Pa$$

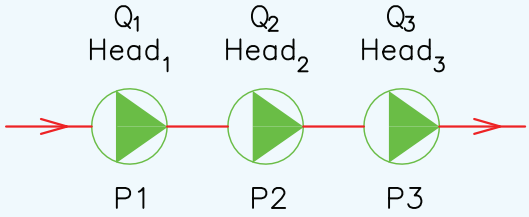
$$P_w = \frac{۰/۸۱ \times ۳۵۴۰۰}{۱۰۰۰} = ۲۸/۶۷۴\,w$$

$$\eta = ٪۶۰ \qquad \text{قدرت مصرفی} = \frac{۲۸/۶۷۴}{۰/۶۰} = ۴۷/۷۹\,w$$

تمرین: تلفات گرمایی ساختمانی $۵۸۰۰۰\,\frac{kcal}{hr}$ و طول لوله رفت دورترین رادیاتور این ساختمان از موتورخانه ۶۰m است. افت فشار در طول مسیر را $۲۰۰\,\frac{pa}{m}$ در نظر بگیرید. دبی پمپ و ارتفاع آبدهی پمپ را محاسبه کنید.

(جواب: دبی پمپ $۱/۴۴\,\frac{l}{s}$ و هد پمپ ۳۶۰۰۰Pa)

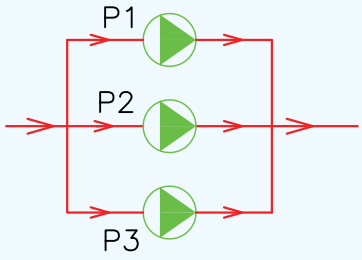
اتصال سری پمپ‌ها: زمانی‌که دو یا چند پمپ مشابه را به صورت سری با هم وصل کنیم هد پمپ‌ها با یکدیگر جمع می‌شود یعنی با سری کردن پمپ‌ها فشار خروجی بیشتر خواهد شد.



کل $Head_t = Head_۱ + Head_۲ + Head_۳$

کل $Q_t = Q_۱ = Q_۲ = Q_۳$

اتصال موازی پمپ‌ها: زمانی‌که دو یا چند پمپ مشابه را به صورت موازی به هم وصل کنیم، دبی (مقدار آبدهی) پمپ‌ها با یکدیگر جمع می‌شود یعنی با موازی کردن پمپ‌ها دبی خروجی بیشتر می‌شود.



کل $Q_t = Q_۱ + Q_۲ + Q_۳$

کل $Head_t = Head_۱ = Head_۲ = Head_۳$

نکته: برای رزرو کردن پمپ می‌توان آن‌را با پمپ‌های دیگر موازی نصب کرد. به طور مثال در شکل پمپ P_3 می‌تواند رزرو باشد و پمپ‌های ۱ و ۲ کار کنند. در موقع خراب شدن یکی از پمپ‌های ۱ یا ۲ آن‌را از مدار جدا می‌کنیم و پمپ ۳ را وارد مدار می‌کنیم.

محاسبه و انتخاب پمپ جریانی

برای انتخاب پمپ جریانی نیاز به سه شاخص است

۱- دبی (مقدار آبدهی) پمپ

۲- هد (فشار یا ارتفاع آبدهی) پمپ

۳- نوع الکتروموتور پمپ

دبی پمپ جریانی برابر است با مجموع دبی دستگاه‌های پخش‌کننده گرما به اضافه‌ی دبی مورد نیاز مخزن آب‌گرم مصرفی

دبی پمپ جریانی را همان‌طور که می‌دانید از رابطه $Q=\frac{H}{۴۶/۵}$ محاسبه می‌کنیم.

تذکر: همان‌طور که می‌دانید آب گرم که در دیگ تولید می‌شود از طریق سیستم لوله‌کشی به رادیاتورها می‌رسد و پس از تبادل حرارت به دیگ بر می‌گردد و آب به‌طور مداوم در یک مدار بسته جریان دارد در نتیجه این آب در اثر زنگ‌زدگی درون لوله‌ها و فیتینگ‌ها و آلودگی‌های داخل دیگ، رادیاتورها و ... کثیف و آلوده می‌شود و به هیچ عنوان برای مصارف بهداشتی مناسب نیست. برای تهیه آب گرم مصرفی از مخزن دو جداره یا مخزن آب گرم کویلی استفاده می‌شود که در فصل ششم همین کتاب مورد بررسی قرار گرفته می‌شود.

نکته: رابطه $Q=\frac{H}{۴۶/۵}$ برای سیستم‌هایی قابل استفاده است که دمای آب گرم رفت و برگشت آن $۲۰^\circ F$ ($۱۱/۱۱^\circ C$) با هم اختلاف داشته باشد. اگر اختلاف دما غیر از $۱۱/۱۱^\circ C$ بود در مخرج کسر به جای ۱۱/۱۱ آن اختلاف دما را قرار می‌دهیم.

$$Q=\frac{H}{۴/۱۸۶\times ۱۱/۱۱}=\frac{H}{۴۶/۵}$$

به طور مثال اگر دمای رفت آب گرم $۷۵^\circ C$ و دمای برگشت آب گرم $۶۰^\circ C$ باشد، اختلاف دمای رفت و برگشت آب گرم $۱۵^\circ C$ است که آن‌را به جای $۱۱/۱۱^\circ C$ قرار می‌دهیم.

$$Q=\frac{H}{۴/۱۸۶\times ۱۵}=\frac{H}{۶۲/۷۹}$$

معمولاً از رابطه $Q=\frac{H}{۴۶/۵}$ استفاده می‌شود.

هد پمپ باید افت فشار آب در مقاوم‌ترین مسیر را جبران کند که در قسمت‌های قبل نحوه محاسبه افت فشار مورد بررسی قرار گرفت. واحدهای هد پمپ پاسکال (Pa)، کیلوپاسکال (KPa) و متر ستون آب (m.wc) و فوت ستون آب (ft.wc) و ... است.

الکتروموتور پمپ‌ها می‌تواند تک‌فاز (۲۲۰ ولت) یا سه فاز (۳۸۰ ولت) باشد و تعداد دور الکتروموتور می‌تواند ۱۴۵۰ دور در دقیقه (r.p.m) و یا ۲۹۰۰rpm باشد.

در شکل ۱۰-۵ کتاب اصلی دیاگرام پمپ مدل $1''AA$ با دور ۱۴۵۰ دور در دقیقه را مشاهده می‌کنید.

بر روی محور افقی در پایین دیاگرام دبی (آبدهی) پمپ بر حسب GPM (گالن بر دقیقه) از صفر تا ۳۰ گالن بر دقیقه آمده است.

بر روی محور عمودی سمت چپ دیاگرام هد (ارتفاع آبدهی) پمپ بر حسب فوت (فوت آب) از صفر تا ۲۰ فوت آمده است.

منحنی‌های داخل نمودار از ۲۰ درصد تا ۴۳ درصد نشانگر راندمان یا بازده پمپ است.

منحنی‌هایی که از $3\frac{7''}{16}$ تا $5\frac{1''}{4}$ در داخل دیاگرام از سمت چپ به سمت پایین و راست ترسیم شده است، قطر

پروانه‌ی پمپ را نشان می‌دهد.

در سمت راست دیاگرام خط‌چین ترسیم شده است که بر روی آن $\frac{۱}{۴}$hp نوشته شده که بیانگر قدرت الکتروموتور پمپ برحسب اسب بخار (hp) می‌باشد.

هر مدل پمپ دارای یک دیاگرام است که با توجه به هد پمپ، دبی پمپ باید پمپ مناسب را انتخاب کنیم. در شکل‌های ۱۱-۵ و ۱۲-۵ از کتاب اصلی دیاگرام دو مدل دیگر پمپ ارائه شده است.

شکل ۱۱-۵ دیاگرام مربوط به پمپ مدل $۱\frac{۱}{۴}''$ AA با ۱۴۵۰ دور در دقیقه می‌باشد.

دیاگرام شکل ۱۲-۵ مربوط به پمپ با مدل ۲″A با ۱۴۵۰ دور در دقیقه است.

هر سه مدل مربوط به الکتروپمپ‌های خطی است.

پرسش: برای انتخاب پمپی با دبی ۱۰۰GPM از کدام دیاگرام باید استفاده کنیم؟

پرسش: برای انتخاب پمپی با هد ۲۵ft از کدام دیاگرام استفاده می‌کنیم؟

همان‌طور که در این سه دیاگرام مشاهده می‌کنید واحد دبی و هد در سیستم انگلیسی ارائه شده است که در صورت لزوم باید بتوانید این واحدها را به واحدهای سیستم SI یا متریک تبدیل نمائید. در جدول زیر تبدیل واحدهای مورد نیاز ارائه شده است.

کمیت	واحد	واحد
دبی	هر لیتر بر ثانیه ($\frac{l}{s}$)	۱۵/۸۵ گالن در دقیقه (gpm)
دبی	هر متر مکعب در ساعت ($\frac{m^۳}{hr}$)	۴/۴ گالن بر دقیقه (gpm)
فشار	هر پوند بر اینچ مربع (psi)	۲/۳۱ فوت ستون آب (ft.wc)
فشار	هر سانتی‌متر آب (cm.wc)	۰/۰۳۲۸ فوت آب (ft.wc)
فشار	هر متر ستون آب (m.wc)	۳/۲۸ فوت ستون آب (ft.Aqu)
فشار	هر کیلوپاسکال (kpa)	۰/۰۹۸ متر ستون آب (m.wc)
فشار	هر کیلوپاسکال (kpa)	۰/۳۳۵ فوت آب
حجم	هر گالن امپریال (im.gal)	۱/۲ گالن آمریکایی (gal)
حجم	هر متر مکعب ($m^۳$)	۱۰۰۰ لیتر
حجم	هر گالن آمریکایی(gal)	۳/۷۸۵ لیتر
طول	هر اینچ (in)	۲/۵۴ سانتی‌متر (cm)
طول	هر فوت (Ft)	۳۰/۴۸ سانتی‌متر (cm)
قدرت	هر اسب بخار	۷۳۶ وات

جدول ۴-۵- تبدیل واحد

تمرین: دبی پمپ مورد نیاز برای ساختمانی ۷۰g.p.m و هد آن ۲۰ft.wc می‌باشد. مشخصات پمپ مناسب این ساختمان را بدست آورید.

با مراجعه به سه دیاگرام مشاهده می‌کنید که برای دبی ۷۰g.p.m فقط می‌توانیم از دیاگرام ۱۲-۵ کتاب اصلی استفاده کنیم. دو دیاگرام دیگر عدد ۷۰ گالن در دقیقه را دربر ندارد.

بر روی محور افقی دیاگرام ۱۲-۵ کتاب اصلی عدد ۷۰ گالن بر دقیقه را پیدا می‌کنیم، سپس بر روی محور عمودی دیاگرام عدد ۲۰ فوت ستون آب را پیدا می‌کنیم. اکنون عدد ۷۰ را به سمت بالا و عدد ۲۰ را به سمت راست امتداد می‌دهیم تا این دو خط یکدیگر را در یک نقطه قطع کند. این نقطه را بر روی دیاگرام مشخص می‌کنیم.

مدل پمپ مناسب که این دیاگرام مربوط به آن می‌باشد در قسمت بالای دیاگرام نوشته شده است. مدل این پمپ ۲″A از سری ۶۰ می‌باشد که دور آن ۱۴۵۰ دور در دقیقه (rpm) و فرکانس برق موتور آن باید ۵۰ هرتز (HZ) باشد. برای مشخص شدن قطر پروانه پمپ، قدرت الکتروموتور و راندمان پمپ به نقطه بدست آمده در داخل دیاگرام مراجعه می‌کنیم.

این نقطه زیر منحنی ۶″ قرار گرفته است یعنی قطر مناسب پروانه این پمپ ۶ اینچ (۶″) است. این نقطه بین خط‌چین‌های $\frac{۱}{۲}$hp و $\frac{۳}{۴}$hp قرار گرفته است، یعنی قدرت الکتروموتور این پمپ باید بین $\frac{۱}{۲}$ اسب‌بخار تا $\frac{۳}{۴}$ اسب بخار باشد که قدرت بیشتر یعنی $\frac{۳}{۴}$hp را در نظر می‌گیریم.

مشخصه آخر این پمپ راندمان آن می‌باشد که نقطه انتخاب پمپ بالای ۵۸ درصد قرار گرفته است یعنی راندمان این پمپ در حدود ۶۰ درصد است.

تمرین: مدل پمپ مناسب برای دبی ۱۷ گالن بر دقیقه و افت فشار ۱۲ فوت ستون آب را بدست آورید.

دبی ۱۷gpm و هد ۱۲ft در خارج از منحنی‌های دیاگرام ۱۲-۵ قرار می‌گیرد پس، از این دیاگرام نمی‌توانیم استفاده کنیم. به دیاگرام ۱۰-۵ و ۱۱-۵ کتاب اصلی مراجعه می‌کنیم هر دو پمپ این دبی و هد را در بر می‌گیرد. برای انتخاب یکی از پمپ‌ها باید به راندمان پمپ‌ها توجه کنیم، هر پمپ که راندمان بیشتری داشت، مناسب‌تر است.

دبی ۱۷gpm و هد ۱۲ft را بر روی هر دو دیاگرام پیدا می‌کنیم و با امتداد خطوط مربوط به آن‌ها به داخل دیاگرام یک نقطه به‌وجود می‌آید. اکنون در هر دیاگرام یک نقطه داریم. در دیاگرام ۱۰-۵ این نقطه راندمان ۴۳ درصد را نشان می‌دهد و در دیاگرام ۱۱-۵ نقطه راندمانی بیشتر از ۴۵ درصد را نشان می‌دهد. پس برای این دبی و هد پمپ نمودار ۱۱-۵ مناسب‌تر است. مدل این پمپ $۱\frac{۱}{۴}$″ AA با دور ۱۴۵۰rpm و فرکانس ۵۰HZ می‌باشد.

تمرین: تلفات گرمایی ساختمانی ۱۵۰۰۰۰w و طول لوله رفت دورترین رادیاتور از موتورخانه ۱۵۰ متر و افت فشار ۲۰۰ $\frac{pa}{m}$ می‌باشد. مدل مناسب پمپ این ساختمان را بدست آورید و مشخصات آن‌را بنویسید.

حل:

از رابطه $Q=\frac{H}{۴۶/۵}$ دبی پمپ را محاسبه می‌کنیم.

$$Q=\frac{H}{۴۶/۵} \qquad H=۱۵۰۰۰۰w$$

$$۱۵۰۰۰۰\div ۱۰۰۰=۱۵۰kw$$

$$Q=\frac{۱۵۰}{۴۶/۵}=۳/۲۲\frac{l}{s}$$

به دلیل اینکه دبی در دیاگرام‌های پمپ برحسب گالن بر دقیقه می‌باشد می‌بایستی $۳/۲۲\frac{l}{s}$ را به gpm تبدیل کنیم.

از جدول۴-۵ تبدیل واحدها هر $\frac{l}{s}$ برابر ۱۵/۸۵gpm است.

$۱\frac{l}{s}=۱۵/۸۵\ gpm \qquad ۳/۲۲\frac{l}{s}=?\ gpm$

$۱۵/۸۵\times۳/۲۲=۵۱ gpm$

هد پمپ را نیز بدین صورت محاسبه می‌کنیم:

$L=۱۵۰\ m \qquad$ افت فشار $= ۳L\times۲۰۰$

افت فشار $= ۳\times۱۵۰\times۲۰۰ = ۹۰۰۰۰ Pa$

$۹۰۰۰۰\div۱۰۰۰ = ۹۰ kpa$

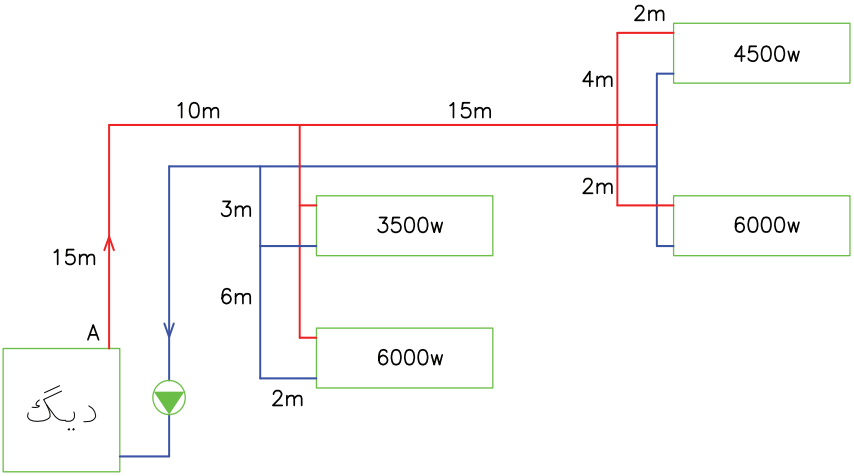
چون هد پمپ در دیاگرام برحسب فوت آب (ft.wc) است ۹۰kpa را باید به ft تبدیل کنیم. هر کیلوپاسکال برابر ۰/۳۳۵ فوت آب است پس خواهیم داشت.

$۱kpa = ۰/۳۳۵\ ft.wc \qquad$ هد پمپ $= ۹۰ kpa$

$۹۰\times۰/۳۳۵ = ۳۰/۱۵ ft.wc$

دبی پمپ این ساختمان ۵۱g.p.m و هد آن ۳۰/۱۵ft است پس از دیاگرام ۱۲-۵ کتاب اصلی باید مشخصات پمپ را بدست آورد. این دیاگرام مربوط به پمپ مدل ۲″A است.

بر روی محور افقی عدد ۵۱ را پیدا کرده و آن‌را به سمت بالا امتداد می‌دهیم. بر روی محور عمودی عدد ۳۰/۱۵ را پیدا کرده و به سمت راست دیاگرام آن‌را ادامه می‌دهیم تا خط عمودی ۵۱ را در یک نقطه قطع کند. این نقطه بالای منحنی $۶\frac{۱}{۲}''$ و پایین منحنی ۷″ است که قطر پروانه این پمپ ۷ اینچ است. از روی این نقطه توان موتور $\frac{۳}{۴}$ hp و راندمان پمپ ۵۴/۵ درصد بدست می‌آید.



تمرین: دبی پمپی $۲/۵۳\frac{l}{s}$ و هد پمپ ۱۲/۲m.wc است. دبی پمپ را برحسب gpm و هد را برحسب فوت ستون آب محاسبه کنید. (جواب: دبی ۴۰gpm و هد ۴۰ft.wc)

تمرین: مدل پمپ مدار زیر را بدست آورید. (افت فشار را $۲۰۰\frac{pa}{m}$ در نظر بگیرید.)

(جواب: هد پمپ ۹/۲۵ft.wc، دبی پمپ ۶/۸gpm و مدل پمپ $۱\frac{۱}{۴}''$ AA)

انتخاب پمپ زمینی: نحوه انتخاب پمپ زمینی نظیر انتخاب پمپ خطی است در شکل ۱۳-۵ کتاب اصلی منحنی همپوشانی انواع پمپ‌های گریز از مرکز مربوط به یکی از شرکت‌های تولیدکننده پمپ زمینی ارائه شده است. با داشتن دبی و هد پمپ از این منحنی مدل پمپ مورد نیاز را انتخاب می‌کنیم.

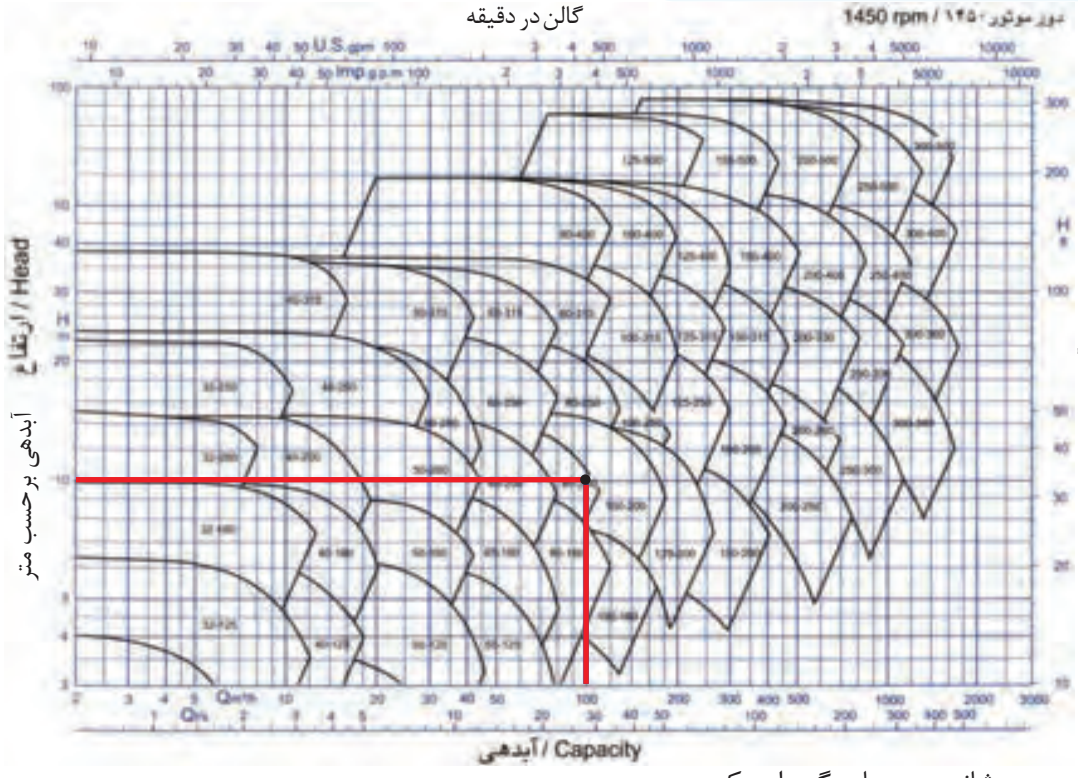
پمپ‌های زمینی که در سیستم حرارت مرکزی استفاده می‌شود معمولاً دارای الکتروموتور ۱۴۵۰ دور در دقیقه می‌باشند.

بر روی محور افقی منحنی شکل ۱۳- ۵ کتاب اصلی دبی پمپ برحسب $\frac{m^3}{hr}$ و $\frac{l}{s}$ نوشته شده است که از ۲ $\frac{m^3}{hr}$ تا ۳۰۰۰ $\frac{m^3}{hr}$ و برحسب $\frac{l}{s}$ از ۰/۵ $\frac{l}{s}$ تا ۸۰۰ $\frac{l}{s}$ درج گردیده است و بر روی محور افقی در بالای شکل دبی برحسب گالن آمریکایی بر دقیقه (gpm) و گالن امپریال بر دقیقه (imp.g.p.m) درجه‌بندی شده است. بر روی محور عمودی منحنی شکل ۱۳-۵ کتاب اصلی در سمت چپ هد پمپ از ۳m.wc تا ۱۰۰m.wc و در سمت راست هد پمپ برحسب فوت ستون آب از ۱۰ft تا ۳۲۰ft درجه‌بندی شده است.

تمرین: دبی پمپ زمینی ساختمانی ۳۰ $\frac{l}{s}$ و هد آن ۱۱ متر ستون آب می‌باشد. مدل این پمپ را تعیین کنید.

بر روی محور افقی پائینی منحنی شکل ۱۳-۵ عدد ۳۰ $\frac{l}{s}$ را پیدا می‌کنیم و آن‌را به سمت بالا امتداد می‌دهیم. (می‌توانید با گونیا و مداد خط نازکی از ۳۰ $\frac{l}{s}$ به بالا رسم کنید)

بر روی محور عمودی سمت چپ عدد ۱۱ متر ستون آب را پیدا می‌کنیم و آن‌را به صورت افقی در داخل منحنی امتداد می‌دهیم تا خط عمودی مربوط به ۳۰ $\frac{l}{s}$ را قطع کند. محل تقاطع این دو خط نقطه‌ای را به وجود می‌آورد. اکنون دقت کرده که این نقطه در داخل محدوده‌ی کدام مدل پمپ قرار گرفته است.

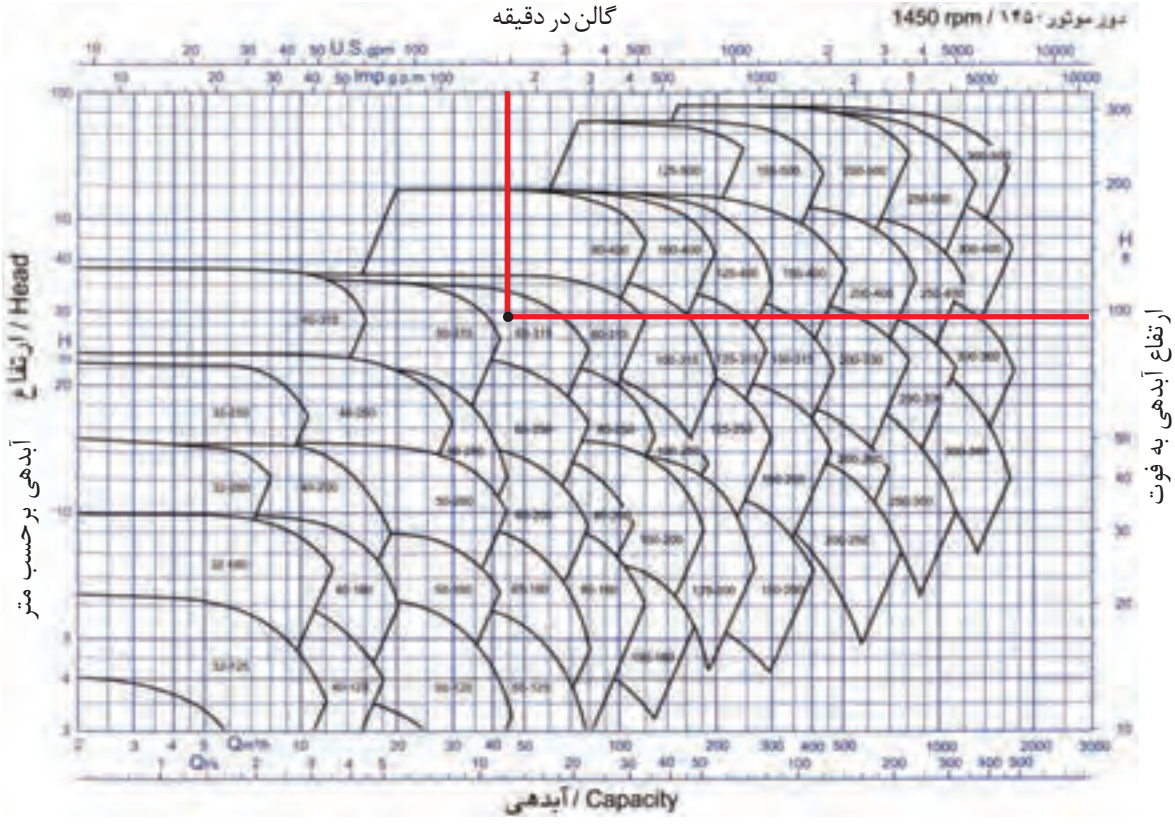


شکل ۶-۵- منحنی هم‌پوشانی پمپ‌های گریز از مرکز

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنید این نقطه در محدوده پمپ زمینی مدل ۲۰۰-۱۰۰ قرار گرفته است. پس برای دبی $30 \frac{l}{s}$ و هد ۱۱m.wc الکتروپمپ ۲۰۰-۱۰۰ با دور ۱۴۵۰rpm مناسب است. منحنی‌های شکل ۱۳-۵ کتاب اصلی برای انتخاب مدل پمپ‌های زمینی مناسب می‌باشند. با مشخص شدن مدل پمپ زمینی برای اطلاع از سایر مشخصات پمپ مورد نظر به منحنی مشخصات همان پمپ مراجعه می‌کنیم که از این منحنی‌ها راندمان پمپ، قطر پروانه پمپ و قدرت الکتروموتور پمپ را می‌توانیم بدست آوریم.

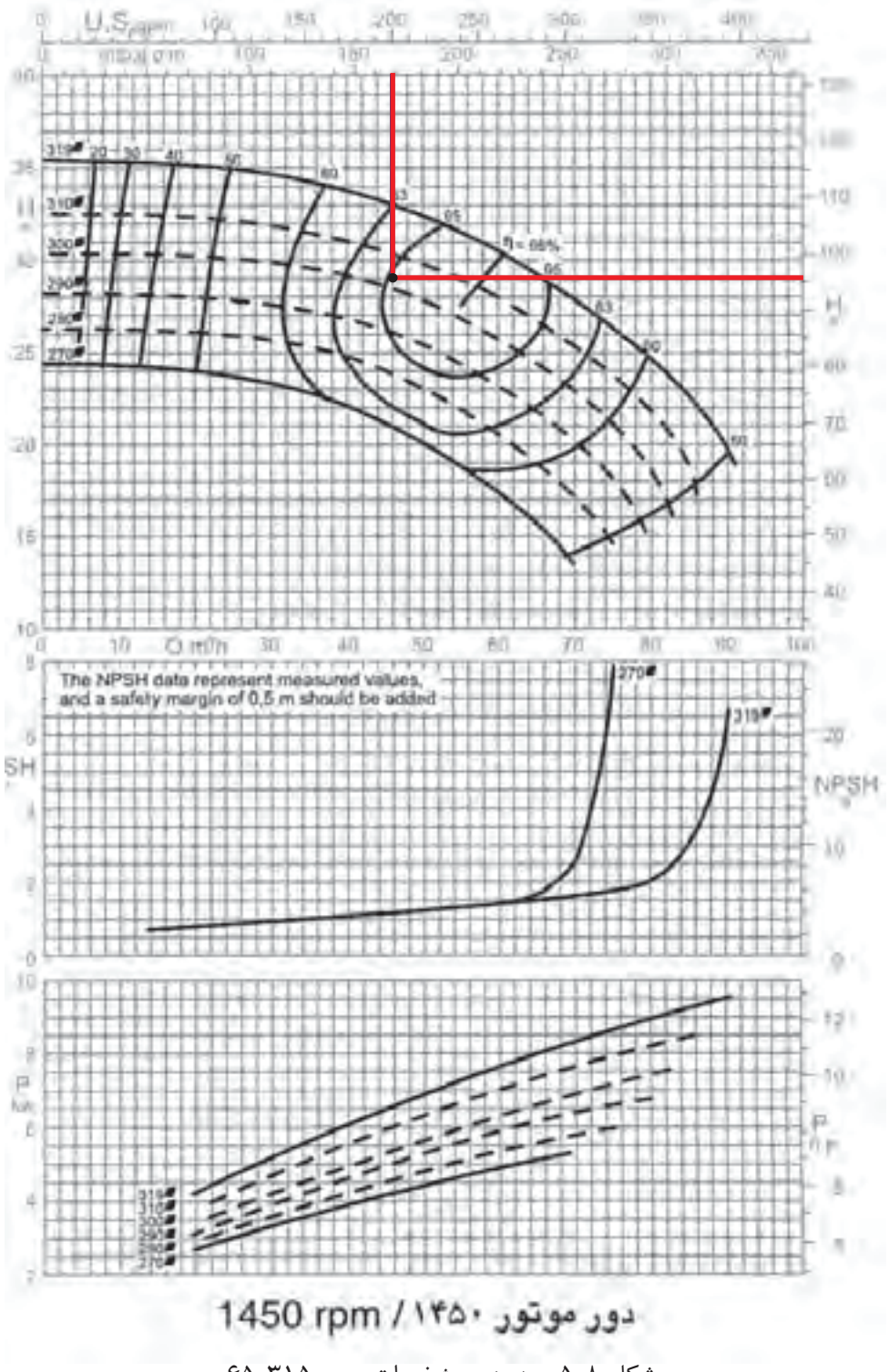
تمرین: دبی آب گرم سیستم حرارت مرکزی ساختمانی ۲۰۰gpm و ارتفاع آبدهی مورد نیاز ۹۵ft.wc باشد. مدل پمپ مناسب برای این سیستم را بدست آورید.

بر روی محور افقی در بالای منحنی شکل ۷-۵ کتاب عدد ۲۰۰ گالن بر دقیقه (gpm) را پیدا می‌کنیم و آن‌را با خطی به پایین امتداد می‌دهیم. بر روی محور عمودی در سمت راست منحنی عدد ۹۵ft.wc را پیدا کرده و آن را با خطی به سمت چپ امتداد می‌دهیم تا خط دبی را قطع کند. تقاطع این دو خط نقطه‌ای است که از طریق آن می‌توان مدل پمپ را تعیین کنیم، که در اینجا نقطه در محدوده پمپ مدل ۳۱۵-۶۵ واقع شده است. مراحل انتخاب مدل این پمپ را بر روی شکل ۷-۵ مشاهده می‌کنید.



شکل ۷-۵- منحنی هم‌پوشانی پمپ‌های گریزازمرکز

در شکل ۸-۵ کتاب منحنی مشخصات پمپ مدل ۳۱۵-۶۵ را مشاهده می‌کنید. در قسمت بالای منحنی راندمان (η) پمپ و قطر پروانه پمپ را می‌توانیم مشخص کنیم. دبی ۲۰۰gpm و هد ۹۵ft را به داخل دیاگرام امتداد می‌دهیم تا یک‌دیگر را در نقطه‌ای قطع کنند، این نقطه مشخصات راندمان و قطر پروانه پمپ است.



شکل ۸-۵- منحنی مشخصات پمپ ۳۱۵-۶۵

این نقطه بر روی منحنی ۶۵ درصد قرار گرفته است یعنی راندمان این پمپ با این دبی و هد ۶۵ درصد است.

نقطه مشخصات پمپ بالای منحنی خطچین ۳۰۰ قرار گرفته است یعنی برای دبی ۲۰۰gpm و هد ۹۵ft پمپ باید دارای پروانه‌ای به قطر ۳۰۰ میلی‌متر باشد و پروانه پمپ که ۳۱۵ میلی‌متر قطر دارد را باید با تراشکاری به ۳۰۰ میلی‌متر کاهش دهیم.

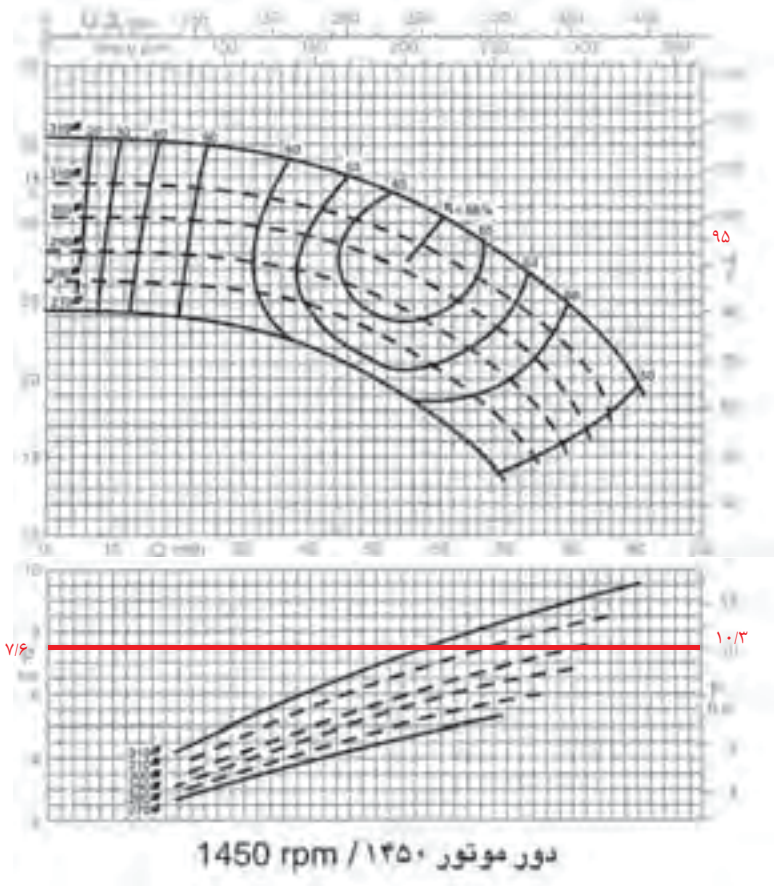
نکته: پمپ مدل ۳۱۵-۶۵ یعنی پمپی که قطر دهانه مکش آن ۶۵mm ($2\frac{1}{2}''$) و قطر پروانه این پمپ ۳۱۵ میلی‌متر می‌باشد.

پرسش: مدل پمپی ۱۲۵-۵۰ است. قطر پروانه این پمپ چند میلی‌متر است؟

برای بدست آوردن قدرت الکتروموتور پمپ مدل ۳۱۵- ۶۵ که پروانه‌ی آن باید ۳۰۰ میلی‌متر باشد به منحنی پائین شکل ۹-۵ کتاب مراجعه می‌کنیم. چون قطر پروانه ۳۰۰mm می‌باشد خط مربوط به قطر پروانه را پیدا می‌کنیم و انتهای این خط را مشخص می‌کنیم. اگر انتهای این خط را به سمت راست امتداد دهیم قدرت موتور برحسب اسب بخار h.p به دست می‌آید و اگر انتهای خط را به سمت چپ امتداد دهیم قدرت موتور بر حسب kw (کیلووات) بدست می‌آید.

در این تمرین چون قطر پروانه ۳۰۰ میلی‌متر است انتهای خطچین ۳۰۰ را به صورت افقی به سمت راست ادامه می‌دهیم که بر روی محور عمودی به عدد ۱۰/۳hp می‌رسیم و در سمت چپ بر روی محور عمودی عدد ۷/۶kw بدست می‌آید.

مراحل بدست آوردن راندمان، قطر پروانه و قدرت الکتروموتور این پمپ در شکل ۸-۵ زیر نشان داده شده است.



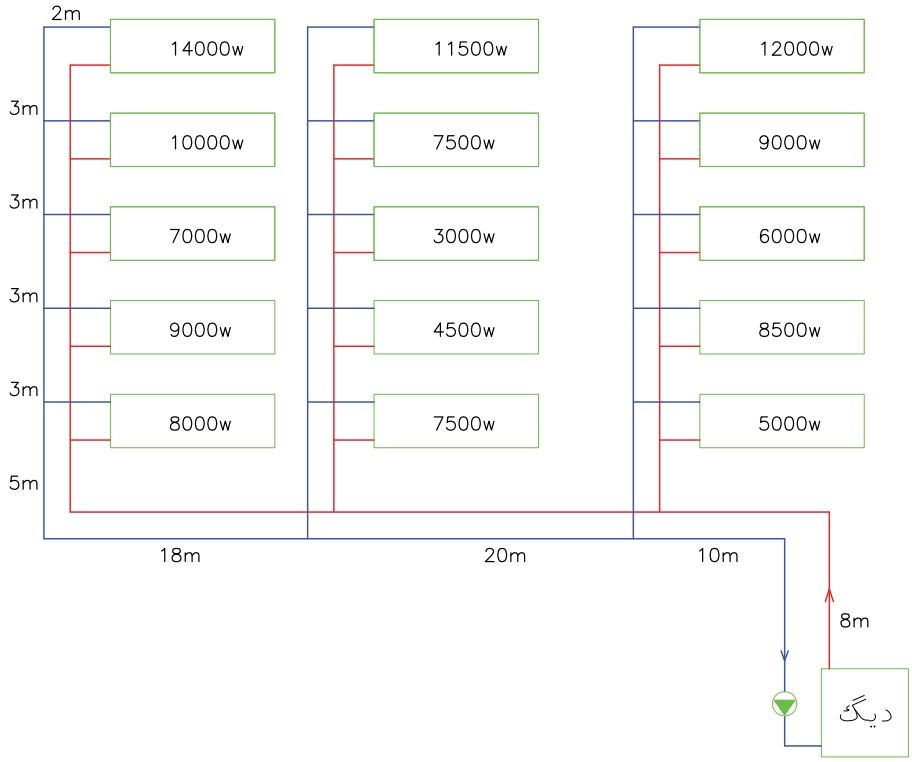
شکل ۹-۵- منحنی مشخصات پمپ ۳۱۵-۶۵

تذکر: منحنی مشخصات پمپ‌های زمینی مدل‌های مختلف در کاتالوگ یا CD انتخاب پمپ کارخانه‌های تولیدکننده پمپ ارائه می‌گردد.

تحقیق: منحنی مشخصات پمپ‌های زمینی مدل ۱۶۰-۵۰ را از کاتالوگ یا سایت شرکت‌های تولیدکننده پمپ یا CD انتخاب پمپ تهیه و در قسمت زیر بچسبانید.

محل چسباندن منحنی مشخصات الکتروپمپ زمینی مدل ۱۶۰-۵۰ ۱۴۵۰rpm

تمرین: دبی و پمپ زمینی با دور ۱۴۵۰rpm برای مدار زیر را محاسبه کنید و مدل پمپ را تعیین کنید. (افت فشار را ۳۰۰ $\frac{pa}{m}$ در نظر بگیرید.)



در ابتدا دبی و هد پمپ را محاسبه می‌کنیم. برای محاسبه دبی پمپ بار گرمایی تمام دستگاه‌های پخش‌کننده حرارت را با هم جمع می‌کنیم و از رابطه زیر دبی را بدست می‌آوریم:

$$Q=\frac{H}{۴۶/۵}$$

$$H=۵۰۰۰+۸۵۰۰+۶۰۰۰+۹۰۰۰+۱۲۰۰۰$$
$$+۷۵۰۰+۴۵۰۰+۳۰۰۰+۷۵۰۰+۱۱۵۰۰$$
$$+۸۰۰۰+۹۰۰۰+۷۰۰۰+۱۰۰۰۰+۱۴۰۰۰=۱۲۲۵۰۰w$$

$$۱kw=۱۰۰۰w \qquad ۱۲۲۵۰۰\div۱۰۰۰=۱۲۲/۵kw$$

$$Q=\frac{H}{۴۶/۵}=\frac{۱۲۲/۵}{۴۶/۵}=۲/۶۳\ \frac{lit}{s}$$

برای محاسبه افت فشار باید طول لوله رفت دورترین رادیاتور را حساب کنیم و از رابطه (۳L×۳۰۰ = افت فشار) استفاده کنیم.

$$L=۸+۱۰+۲۰+۱۸+۵+۳+۳+۳+۳+۲=۷۵m$$

$$۳L\times۳۰۰=۳\times۷۵\times۳۰۰=۶۷۵۰۰pa$$ افت فشار

$$۱kpa=۱۰۰۰pa \qquad ۶۷۵۰۰\div۱۰۰=۶۷/۵kpa$$

چون در دیاگرام ۱۳-۵ کتاب اصلی هد برحسب m یا ft می‌باشد باید کیلوپاسکال را تبدیل کنیم.

$$۱kpa=۰/۰۹۸m.wc \qquad ۶۷/۵kpa=?\ m.wc$$

$$۶۷/۵\times۰/۰۹۸=۶/۶\ m.wc$$

تذکر:

$$۱mwc\approx\ ۱۰۰۰۰\ pa$$

که با تقریب قابل قبول میتوان در تبدیل واحد استفاده کرد.

با دبی $۲/۶۳\ \frac{l}{s}$ و هد ۶/۶m.wc به دیاگرام شکل ۱۳-۵ کتاب اصلی مراجعه می‌کنیم و محل تقاطع $۲/۶۳\ \frac{l}{s}$ و ۶/۶m.wc در داخل منحنی را مشخص می‌کنیم. این نقطه در داخل محدوده پمپ ۱۶۰-۳۲ قرار دارد یعنی مدل مناسب

این پمپ ۱۶۰-۳۲ است. برای کسب مشخصات پمپ ۱۶۰-۳۲ می‌توانیم به کاتالوگ شرکت تولیدکننده پمپ زمینی مراجعه کنیم.

تمرین: اگر در تمرین قبل طول لوله رفت دورترین رادیاتور ۲ برابر مقدار فعلی باشد، مدل پمپ زمینی مناسب با دور ۱۴۵۰rpm را بدست آورید.

تذکر: برای محاسبه دبی پمپ علاوه بر بار گرمایی رادیاتورها باید حرارت لازم برای گرم کردن آب گرم مصرفی را هم در نظر بگیریم. محاسبه گرمای مورد نیاز برای گرم کردن آب گرم مصرفی در فصل ششم آموزش داده شده است.

انبساط لوله‌ها

با افزایش دمای آب داخل لوله‌ها، دمای جداره‌ی لوله نیز زیاد می‌شود و باعث انبساط لوله و افزایش طول لوله می‌گردد با کم شدن دمای آب، جداره‌ی لوله نیز سرد شده و منقبض می‌شود و باعث کاهش طول لوله می‌گردد. انبساط و انقباض لوله‌ها در صورتی‌که طول لوله زیاد باشد، قابل ملاحظه بوده و می‌تواند باعث آسیب رسیدن به شبکه لوله‌کشی شود. برای گرفتن انبساط و انقباض لوله‌ها از سه روش استفاده می شود.

روش‌های گرفتن انبساط و انقباض لوله‌ها:

۱- استفاده از قطعات انبساطی

۲- استفاده از شیلنگ‌های قابل انعطاف

۳- استفاده از لوپ (Loop) انبساطی و پای (Leg) انبساطی

انواع قطعات انبساطی

دنده‌ای – جوشی – فلنجی

قطعات انبساط در اثر گرفتن انبساط و انقباض می‌تواند از یک راستا خارج شوند و تغییر حالت دهند به همین علت این قطعات دارای قطعه‌ی هادی در داخل و خارج می‌باشند.

شیلنگ‌های قابل انعطاف بر دو نوع فلزی و لاستیکی می‌باشند و در مسیر مستقیم لوله‌ها باید نصب شود.

انبساط لوله‌ها با توجه به جنس آن‌ها تغییر می‌کند.

در جدول ۲-۵ کتاب اصلی مقدار انبساط لوله‌های فولادی (Steel Pipe) و مسی (Copper Tubing) ارائه شده است. در ردیف اول $0^{\circ}F$ به عنوان دمای مبنا نوشته شده است که تغییر طول لوله مسی و لوله فولادی در آن صفر اینچ در ۱۰۰ فوت طول لوله است.

اگر دمای آب $50^{\circ}F$ بیش‌تر شود مقدار انبساط لوله مسی که این آب در آن جریان دارد ۰/۵۶in در ۱۰۰ فوت طول لوله می‌باشد. مقدار انبساط برای لوله فولادی ۰/۳۷ اینچ در ۱۰۰ فوت طول لوله می‌باشد.

اکنون اگر دمای آب را به ۲۰۰ درجه فارنهایت افزایش دهیم انبساط لوله مسی به ۲/۲۷ اینچ (در حدود ۵/۸ سانتی‌متر) در ۱۰۰ فوت (۳۰/۴۸متر) طول لوله می رسد.

تمرین: در دمای $65/5^{\circ}C$ لوله فولادی به طول ۶۱m چند سانتی‌متر افزایش طول نسبت به دمای $0^{\circ}F$ خواهد داشت؟

برای استفاده از جدول دما بر حسب $^{\circ}F$ باید باشد. برای تبدیل $^{\circ}C$ به $^{\circ}F$ از رابطه زیر استفاده می‌کنیم.

$$F-32=1/8C \qquad t=65/5^{\circ}C$$

$$F-32=1/8\times 65/5$$

$$F-32=117/9 \qquad F=117/9+32=149/9^{\circ}\simeq 150^{\circ}$$

با مراجعه به جدول در ردیف $150^{\circ}F$ انبساط لوله فولادی ۱/۱۵ اینچ در ۱۰۰ فوت طول لوله است.

۱۰۰ فوت برابر ۳۰/۴۸ متر و ۱/۱۵ اینچ برابر ۲/۹۲ سانتی‌متر است.

$$(65/5^{\circ}C)\ 150^{\circ}F \text{ انبساط در} = \frac{1/15in}{100ft}=\frac{2/92cm}{30/48m}$$

طول لوله در تمرین ۶۱ متر است پس انبساط آن برابر است با:

$$\begin{cases} \text{طول} & \text{انبساط} \\ ۳۰/۴۸\,m & ۲/۹۲\,cm \\ ۶۱\,m & x \end{cases} \Rightarrow$$

$$x = \frac{۶۱ \times ۲/۹۲}{۳۰/۴۸} = ۵/۸۴\,cm$$

روش دوم:

چون ۶۱ متر ۲ برابر ۳۰/۴۸ متر است انبساط آن نیز دو برابر می‌شود یعنی:

$۲/۹۲ \times ۲ = ۵/۸۴\,cm$ = مقدار انبساط طولی

تمرین: افزایش طول لوله مسی ۹۱/۵m در اثر عبور سیال با دمای $۲۰۰^{\circ}F$ را نسبت به صفر درجه فارنهایت برحسب in و سانتی‌متر محاسبه کنید. (جواب: ۶/۸۱in یا ۱۷/۳cm)

ارتعاش در لوله‌کشی

در هنگام کار کردن الکتروپمپ‌ها ارتعاش ایجاد می‌شود. این ارتعاش یا لرزه از پمپ به لوله‌ها منتقل می‌شود و باعث ایجاد اثرات نامطلوب می‌گردد.

اثرات ارتعاش در شبکه لوله‌کشی

۱- وارد شدن صدمات فیزیکی به لوله‌کشی نظیر شکستن فیتینگ‌ها ۲- هدایت صدا از طریق لوله‌ها که باعث سلب آسایش ساکنین می‌شود. اگر لوله‌ها با اجزاء ساختمان تماس داشته باشد، سر و صدا به داخل ساختمان منتقل می‌شود.

برای جلوگیری از این اثرات نامطلوب از ارتعاش‌گیرها (لرزه‌گیرها) استفاده می‌کنیم.

انواع ارتعاش‌گیر: ۱- فلزی ۲- لاستیکی

ارتعاش‌گیرهای فلزی را از جنس فولاد ضد زنگ (استیل) تولید می‌کنند.

انواع ارتعاش‌گیر فولادی: ۱- دنده‌ای ۲- جوشی ۳- فلنچی

ارتعاش‌گیرهای فولادی قیمت بالاتری نسبت به ارتعاش‌گیرهای لاستیکی دارند و بر روی لوله مکش و رانش پمپ‌های زمینی نصب می‌شوند.

ارتعاش‌گیرهای لاستیکی دارای اتصال فلنچی هستند و با توجه به نوع سیال (آب یا ...) و درجه حرارت و فشار سیال انتخاب و نصب می‌شود.

بر روی لرزه‌گیرهای لاستیکی کد رنگی چاپ می‌شود که از روی رنگ آن می‌توان به کاربرد آن پی برد. در جدول ۵-۵ کد رنگی لرزه‌گیر (ارتعاش‌گیر) و کاربرد آن‌ها ارائه شده است.

ارتعاش گیرهای لاستیکی بر روی لوله مکش و رانش پمپ‌های زمینی در نزدیکترین نقطه ممکن به پمپ نصب می‌شود.

تذکر: یک نوع دیگر از ارتعاش‌گیرها به صورت شیلنگ‌های قابل انعطاف فلزی می‌باشند که در تأسیسات برودتی و بر روی لوله مکش و رانش کمپرسورهای تبرید نصب می‌شود و از انتقال ارتعاش کمپرسور به لوله‌های مکش و رانش جلوگیری می‌کند.

کد رنگی ارتعاش‌گیر	کاربرد ارتعاش‌گیر
قرمز	سیستم‌های حرارتی تا دمای $۹۰^{\circ}C$
سفید	سیستم‌های آب بهداشتی
زرد	سیستم‌های تهویه مطبوع
آبی	سیستم‌های پر فشار (فشار نامی ۱۶bar و ۲۵bar)
سبز	سیستم‌های صنعتی با سیالات اسیدی و مشتقات نفتی

جدول ۵-۵- کد رنگی و کاربرد ارتعاش گیرهای لاستیکی

ارتعاش پمپ‌ها از طریق شاسی آن نیز می‌تواند به فونداسیون زیر پمپ و زمین منتقل شود که برای جلوگیری از آن می‌توان از ارتعاش‌گیر لاستیکی تخت استفاده کرد این لاستیک‌ها را به اندازه‌ی شاسی پمپ برش زده و زیر شاسی قرارمی‌دهند. یعنی بین شاسی و پمپ و فونداسیون، لرزه‌گیر لاستیکی قرار دارد.

نکته: بر روی لوله‌ی مکش پمپ‌های زمینی به ترتیب از پائین به بالا ارتعاش‌گیر لاستیکی، سه راه صافی (استرینر) و شیر فلکه کشویی نصب می‌شود.

بر روی لوله رانش پمپ‌های زمینی به ترتیب از پائین به بالا ارتعاش‌گیر لاستیکی، شیر یک طرفه و شیر فلکه کف فلزی (بشقابی) نصب می‌شود.

برای اندازه‌گیری فشار مکش و رانش پمپ دربالای ارتعاش‌گیرها سه‌راهی تبدیل نصب می‌کنند و بر روی سه‌راهی فشارسنج نصب می‌شود. برای اینکه فشارسنج (گیج) به‌طور مداوم تحت فشار نباشد و از استهلاک آن کاسته شود، قبل از فشارسنج شیر سماوری نصب می کنند هر زمان که بخواهیم فشار را بخوانیم آن را باز می‌کنیم و پس از قرائت، شیر سماوری را می‌بندیم. برای جلوگیری از انتقال لرزش پمپ به عقربه‌ی فشارسنج می‌توان از فشارسنج‌های گلیسیرین‌دار استفاده نمود که عقربه و صفحه فشارسنج درون روغن شفاف گلیسیرین قرار دارد و این روغن ارتعاش را گرفته و عقربه به‌طور ثابت بدون لرزش فشاری را نشان خواهد داد.

تذکر: ۱- بر روی پمپ‌های خطی به دلیل قدرت پائین آن‌ها و ارتعاش کم معمولاً ارتعاش‌گیر نصب نمی‌کنند.

۲- نصب صافی (سه‌راهی صافی) بر روی لوله مکش پمپ‌های خطی توصیه می‌گردد.

۳- دربازار به ارتعاش‌گیر معمولاً لرزه‌گیر می‌گویند.

۴- لرزه‌گیرها بر روی لوله مکش و رانش پمپ باید بصورت کاملاً تراز نصب شود.