به نام خدا

نحوه اجرای تاسیسات مکانیکی

فصل ۳

طراحی کانال هوا (DUCT DESIGN)

در طراحی سیستم کانال هوای ساختمان‌های مسکونی، تجاری و صنعتی باید عوامل مهمی (۱) فضای موجود برای عبور کانال (۲) نحوهٔ توزیع هوا در فضای مورد نظر (۳) مسئلهٔ صدای مجاز (۴) نشت هوا از کانال (۵) انتقال حرارت به و یا از کانال (۶) موازنهٔ جریان درون کانال (۷) کنترل آتش و دود (۸) سرمایه اولیه و (۹) هزینهٔ بهره برداری سیستم را در نظر گرفت.

معمولاً کوچک نمودن سیستم‌ها با زیاد نمودن هزینهٔ بهره‌برداری می‌تواند رضایی از طراحی را فراهم سازد. کانال‌ها باید توزیع صحیح هوا ممکن است موجب اختلاس عده آسایش شود و در صورت عدم استفاده از تجهیزات کاهندهٔ صدا، این امر باعث تولید صدای قابل توجهی نیز خواهد شد. کانال‌هایی که طراحی آنها ضعیف باشد باعث عدم توازن سیستم می‌شوند.

در این فصل نحوهٔ طراحی کانال و محاسبه اصطکاک سیستم و مقاومت دریافتی در مقابل جریان هوا بررسی خواهد شد.

۳-۱ تعاریف (definition)

دانستن اصطلاحات هد (head) به‌عنوان مترادف فشار استفاده می‌شود. در عین حال باید یادآور شد که فشار عبارت است از نیروی قائم بر واحد سطح و هد عبارت است از ارتفاع ستون سیال. موسوم است که در مورد هوا و گاز مقدار فشار را براساس ارتفاع ستون یک مایع بیان می‌کنند. فشار استاتیکی (static pressure) هد استاتیکی (static head) است. فشار سرعتی (velocity pressure) برابر با هد سرعتی است و اگرچه مقدار هد سرعتی بستگی به چگالی سیال ندارد ولی مقدار سرعتی به آن وابسته است:

$$p_v = \rho \left(\frac{V}{1097}\right)^2 \qquad (۳-۱)$$

مقدار فشار کل (total pressure) برابر با مجموع فشار استاتیک و فشار سرعتی است:

$$p_t = p_s + \rho \left(\frac{V}{1097}\right)^2 \qquad (۳-۲)$$

۳-۲ افت فشار در کانال و اتصالات (pressure drop in duct and fittings)

افت فشار ناشی از ترجمت سیال است و در جریان آرام (laminar) در اثر تبادل اندازه حرکت (momentum exchange) بین مولکول‌ها به‌وجود می‌آید. افت فشار در جریان درهم (turbulent) بدلیل تبادل اندازه حرکت بین ذرات درون لایه‌های سیال مجاور هم که با سرعت‌های متفاوت حرکت می‌کنند ایجاد می‌شود.

مقدار افت فشار سیال در یک کانال یا مجرا را می‌توان از معادلهٔ دارسی (darcy) محاسبه کرد:

$$\Delta p_f = \frac{12\, fL}{D_h} \rho \left(\frac{V}{1097}\right)^2 \qquad (۳-۳)$$

f را ضریب اصطکاک گویند که از روابط زیر به‌دست می‌آید:

$$f' = 0.11 \left(\frac{12\varepsilon}{D_h} + \frac{68}{Re}\right)^{0.25}$$

اگر $f' \geq 0.018$ باشد $f = f'$

اگر $f' < 0.018$ باشد $f = 0.85\, f' + 0.0028$

که:

ρ = چگالی lbm/ft^3

L = طول کانال ft

D_h = قطر هیدرولیکی $4A/p$ (A = مساحت و p = محیط)

ε = ضریب زبری سطح

V = سرعت fpm

Δp_f = افت فشار برحسب فشار کل اینچ آب

R_e = عدد رینولدز $8.56\, D_h\, V$

مقدار ضریب زبری برای مصالح مختلف مورد استفاده در کانال در جداول (۳-۱) نشان داده شده است.

افت فشار ناشی از اصطکاک در کانال‌های گرد را می‌توان از نمودار نشان داده شده در شکل (۳-۲) یافت. اگرچه تغییرات فشار جوّ، درجه‌حرارت و رطوبت نسبی بر چگالی و ترجمت هوا و عدد رینولدز تأثیر می‌گذارند ولی استفاده از نمودار شکل (۳-۲) در شرایط زیر احتیاج به ضریب تصحیح ندارد:

- کانال از موادی که سطح آنها نسبتاً صاف است ساخته شده باشد
- تغییرات درجه‌حرارت نسبت به مبنای 70°F در محدودهٔ ±30°F باشد
- ارتفاع محل از سطح دریا از 1500 ft تجاوز نکند
- فشار نسبی هوای درون کانال -20 تا +20 اینچ آب باشد

برای هنگامی که یک کدام از شرایط بالا صادق نباشد برای محاسبهٔ افت فشار از معادلهٔ ارائه شده قبلی استفاده کنید.

جدول ۳-۱ ضریب زبری مصالح مورد استفاده در کانال‌های هوا (ASHRAE)

جنس کانال	گروه زبری	زبری مطلق ε، ft
Uncoated carbon steel, clean (Moody 1966) (0.00015 ft)	صاف	0.0003
PVC plastic pipe (Swim 1982) (0.00001 to 0.00015 ft)		
Aluminum (Aludraisen 1956) (0.00015 to 0.00022 ft)		
Galvanized steel, longitudinal seams, 4 ft joints (Griggs et al. 1987) (0.00016 to 0.00022 ft)	نسبتاً صاف	0.0007
Galvanized steel, continuously rolled, spiral seams, 10 ft joints (Jones 1979) (0.0002 to 0.0004 ft)		
Galvanized steel, spiral seam with 1, 2, and 3 ribs, 12 ft joints (Griggs et al. 1987) (0.00029 to 0.00038 ft)		
Galvanized steel, longitudinal seams, 2.5 ft joints (Wright 1965) (0.0005 ft)	متوسط	0.0009
Fibrous glass duct, rigid	نسبتاً زبر	0.003
Fibrous glass duct liner, air side with facing material (Swim 1978) (0.005 ft)		
Fibrous glass duct liner, air side spray coated (Swim 1978) (0.015 ft)	زبر	0.01
Flexible duct, metallic (0.004 to 0.007 ft when fully extended)		
Flexible duct, all types of fabric and wire (0.0035 to 0.015 ft when fully extended)		
Concrete (Moody 1966) (0.001 to 0.01 ft)		

نمودار شکل (۳-۲) برای کانال‌های گرد تهیه شده است. برای تبدیل کانال گرد به کانال چهارگوش معادل، از جدول (۳-۳) استفاده کنید.

برای به‌دست‌آوردن افت فشارهای موضعی (local pressure drops) که در اثر وجود اتصالات و اجزاء گوناگون سیستم کانال‌کشی ایجاد می‌شود از رابطهٔ

$$\Delta p_j = C_0\, p_{v_0}$$

استفاده می‌کنند که پاتویس (اندازه‌گیر سطح مقطع اندازه‌گیری فشار سرعتی است)، در رابطهٔ بالا Δp_j افت فشار برحسب اینچ ستون آب، p_{v_0} فشار سرعتی و C_0 ضریب افت فشار در اتصالات است که از جدول (۳-۹) به‌دست می‌آید. در جدول (۳-۹) برای هر یک از اتصالات یک کُد ذکر شده است که تعیین آن طبق تعاریف ارائه شده در جدول (۳-۵) است. برای مثال E10-1 یک قطعه انشعابی (شمارهٔ ۵ در جدول ۳-۵) با سطح مقطع گرد (Diameter) در سیستم تخلیهٔ هوا است. همچنین کُد SR 3-1 یک زانو (شمارهٔ ۳ در جدول ۳-۵) در سیستم تغذیهٔ هوا (supply) با سطح مقطع چهارگوش (Rectangular) را نشان می‌دهد.

۳-۳ افت فشار دهانه‌های مکش بادزن

(fan intel and outlet pressure drop)

✓ عملکرد یک بادزن در محل نصب متمرکز است با عملکرد آن در محل

کارخانه سازنده تفاوت داشته باشد. شایعترین دلایل این تفاوت عبارتند از: اتصال نامناسب دهانه خروجی از بادزن، غیریکنواخت‌بودن جریان ورودی بادزن (شکل ۳-۶) نشانه‌دهندهٔ اثر تفاوت ذکر شده است. همانگونه که از شکل دیده می‌شود بادزن برای کار در نقطه 1 انتخاب شده است ولی به‌دلیل وجود افت فشار در دهانه بادزن نقطهٔ کار واقعی در 4 خواهد بود. بنابراین برای این‌که ظرفیت هوادهی بادزن برابر با مقدار مورد نظر در نقطهٔ طراحی 1 باشد باید افت فشار بین نقاط 1 تا 2 را نیز به افت فشار سیستم کانال کشی اضافه کرد و بادزن را برای کار در نقطه 2 انتخاب کرد.

بادزن‌های مورد استفاده در سیستم‌های کانال کشی را معمولاً مطابق استاندارد 51 انجمن ASHRAE آزمایش می‌کنند. طبق این استاندارد در دهانهٔ خروجی بادزن از یک کانال مستقیم استفاده می‌شود. پروفیل تغییر سرعت در طول این کانال در شکل (۳-۷) نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود برای یکنواخت‌شدن و بازیافت سرعت باید به اندازهٔ طول مؤثر کانال (L_e) از دهانهٔ بادزن فاصله بگیریم. مقدار L_e تابعی از سرعت است:

$$L_e = \frac{V_0\sqrt{A_0}}{10000} \qquad V_0 \geq 2500 \text{ fpm} \text{ برای}$$

$$L_e = \frac{\sqrt{A_0}}{4.3} \qquad V_0 \leq 2500 \text{ fpm} \text{ برای}$$

که:

V_0 - سرعت در کانال، fpm

A_0 - مساحت مقطع کانال، in^2

L_e - طول مؤثر کانال، ft

✓ هوا باید به‌صورت یکنواخت (uniformity) در جهت محوری (axial direction) و بدون چرخش (prerotation) وارد دهانهٔ مکش بادزن شود. غیریکنواخت‌بودن جریان بر روی سطح دهانه ورودی بادزن دلیل اصلی کاهش عملکرد آن خواهد بود. چرخش جریان ورودی در جهت دوران بادزن موجب کاهش منحنی فشار- حجم می‌شود و مقدار این کاهش بستگی به‌شدت چرخش و گردابهٔ حاصل از آن دارد. چنانچه چرخش (گرداب) در دهانه ورودی بادزن در خلاف جهت دوران بادزن باشد، منحنی فشار- حجم را اندکی و توان مصرفی بادزن را در حد قابل توجهی افزایش خواهد داد. برای حذف چرخش در دهانه ورودی بادزن می‌توان کانال مستقیمی با طول مناسب را بین زانو و دهانه مکش قرار داد. در شکل (۳-۸) چند اتصال رایج که موجب پیدایش چرخش در دهانه ورودی بادزن می‌شود و پیشنهادات اصلاحی مربوط به آنها نشان داده شده است.

جدول ۴-۲۲ خلاصهٔ ضرایب افت فشار قطعات برای مثال (۱-۴)

شماره قطعه کانال	شماره قطعه	نوع قطعه	شماره قطعه ASHRAE	پارامترها	ضریب افت فشار
1	1	Entry	ED1-3	$r/D = 0.2$	0.09
	2	Damper	CD9-1	$\theta = 0°$	0.19
	3	Wye (30°), main	ED5-1	$A_s/A_c = 1.0, A_b/A_c = 0.444, Q_s/Q_c = 0.75$	0.11 (C_s)
	Summation of Section 1 loss coefficients				0.33
2	4	Entry	ED1-1	$L = 0.1 = 0.063$ in. (16 gage)	0.56
	5	Screen	CD6-1	$n = 0.70, A_f/A_c = 1$	0.58
	6	Elbow	CD3-6	60°, $r/D = 1.5$, pleated	0.27
	3	Damper	CD9-1	$\theta = 0°$	0.19
	Summation of Section 2 loss coefficients		ED5-1	$A_s/A_c = 1.0, A_b/A_c = 0.444, Q_b/Q_c = 0.25$	4.35 (C_b)
					5.75
3	7	Damper	CD9-1	$\theta = 0°$	0.19
	8	Wye (45°), main	ED5-2	$A_s/A_c = 0.498, A_b/A_c = 0.779, Q_s/Q_c = 0.5$	0.58 (C_s)
	Summation of Section 3 loss coefficients				0.67

۴-۸ ساخت کانال (duct construction)

ساخت کانال براساس نوع کاربری و فشار گروه‌بندی می‌شود. سیستم‌های ۴۲/۸۷ برای دیگ‌های آموزشی، اجتماعات عمومی، کارخانجات عمومی و ساختمان‌های تجاری را معمولاً به‌عنوان سیستم‌های تجارتی (commercial systems) درنظر می‌گیرند. سیستم‌های کنترل آلودگی هوا، تغذیهٔ هوا در صنایع، و سیستم‌هایی که فشار آنها خارج از محدودهٔ استاندارد سیستم‌های تجاری (commercial systems) است در گروه سیستم‌های صنعتی قرار می‌گیرند. گروه‌بندی کانال‌ها به‌صورت زیر است:

مسکونی

± 0.5 اینچ آب

± 1 اینچ آب

سیستم‌های تجاری

±0.5

±1

±2

±3

±4

±6

±10

سیستم‌های صنعتی

هر فشاری

جدول (۲۲-۳) ضخامت ورق، نحوهٔ بست‌زدن، نوع درزبندی و روش تقویت کانال‌های با مقطع چهارگوش از جنس فولاد یا آلومینیوم را نشان می‌دهد. انواع درزبندی مورد استفاده در ساخت کانال‌های هوا را می‌توان در شکل (۲۵-۳) مشاهده کرد. در جدول (۲۶-۳) ساختمان پیشنهادی برای کانال‌ها گرد و در جدول (۲۷-۳) ضخامت ورق‌های مورد استفاده در کانال‌های چهارگوش در سیستم‌های پرفشار نشان داده شده است. وزن ورق‌های مورد استفاده در ساخت کانال را می‌توان در جدول (۲۸-۳) یافت.

۳-۸-۱ ساخت کانال در ساختمان‌های مسکونی

در این ساختمان‌ها کانال‌های تغذیهٔ هوا را می‌توان از جنس فولاد، آلومینیوم یا فایبرگلاس ساخت. ضخامت کانال‌های فولادی باید حداقل برابر با مقادیر ارائه شده در جدول (۲۴-۳) باشد.

۳-۸-۲ ساخت کانال در ساختمان‌های تجاری

حداقل ضخامت ورق اینگونه کانال‌ها باید برابر با مقادیر ارائه شده در جدول (۲۴-۳) باشد. وقتی با تغییر مقطع کانال روبرو باشیم، ضخامت ورق مورد استفاده برمبنای اندازهٔ ضلع بزرگتر تعیین خواهد شد. کانال‌های گرد اقتصادی‌ترین و کارآترین کانال برای سیستم‌های توزیع هواست و در آنها تحمل ضربات فیزیکی و فشار منفی بیشتر از کانال‌های با مقطع مستطیلی می‌باشد.

فصل ۱۰

ساختمان‌های مسکونی

(RESIDENCES)

۱۰-۱ سیستم‌ها (systems)

نوع سیستم‌های تهویه مطبوع ساختمان‌های مسکونی متاثر از عوامل محلی و کاربردی است. عوامل محلی عبارتند از: منابع موجود انرژی و قیمت آنها، شرایط آب و هوایی، ویژگی‌های اجتماعی- اقتصادی و دسترسی به نیروی متخصص جهت نصب و تعمیرات. نوع ساختمان، مشخصه‌های فنی ساختمان و مقررات و ضوابط ساختمان‌های مسکونی، عوامل کاربردی (application factors) هستند. بنابراین برای گرمایش، سرمایش، رطوبت‌زنی، رطوبت‌گیری و تصفیهٔ هوا، و یا ترکیب این فرایندها می‌توان از سیستم‌های گوناگونی استفاده کرد. در این فصل تأکید بر سیستم‌های متداول‌تر تهویه مطبوع ساختمان‌های مسکونی تک‌واحدی و چند واحدی (single and multifamily) است.

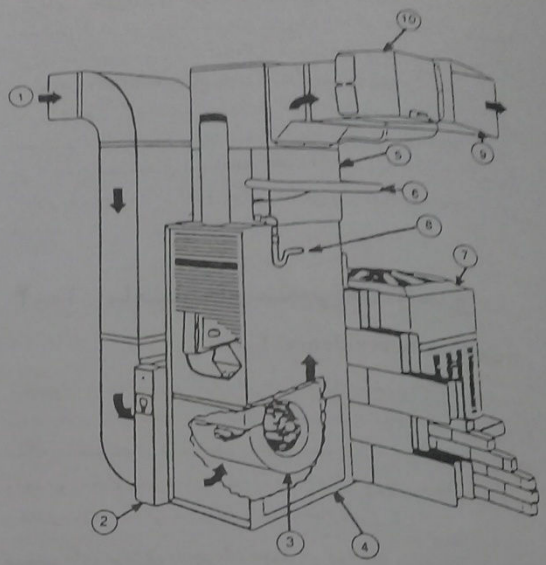
معمولاً ساختمان‌های مسکونی نیازمند سرمایش و گرمایش هستند. در بسیاری از سیستم‌ها با افزودن فیلترهای معمولی یا الکترواستاتیکی عمل تصفیه هوا را نیز انجام می‌دهند. در اکثر سیستم‌ها می‌توان از رطوبت زن (humidifier) نیز استفاده کرد، به‌ویژه در فصل گرمایش و زمانی که با توجه به شرایط سایکرومتریک لازم باشد رطوبت هوا افزایش یابد.

سیستم‌های گرمایشی متداول برای ساختمان‌های مسکونی در جدول (۱-۱۰) نشان داده شده است. این سیستم‌ها از سه گروه اصلی تشکیل شده‌اند: تغذیهٔ اجباری هوا از ایستگاه مرکزی (centeral forced air)، سیستم‌های مرکزی آبی (centeral hydronic) و سیستم‌های منطقه‌ای (zonal). انتخاب و طراحی سیستم با توجه به (۱) نوع منبع انرژی، (۲) چگونگی توزیع و انتقال سیال واسطه سرمایش و گرمایش، و (۳) دستگاه‌های پایانه یا مصرف‌کننده (terminals) صورت می‌گیرد. نمونهٔ تاسیسات مورد استفاده در شکل‌های (۲-۱۰) و (۳-۱۰) نشان داده شده است.

شکل (۲-۱۰) یک کورهٔ گازسوز (gas furnace) متشکل از دستگاه تهویه مطبوع دوتکه (split system)، رطوبت‌زن و فیلتر هوا را نشان می‌دهد. نحوهٔ عملکرد سیستم چنین است: هوا ازطریق کانال هوای برگشت (۱) به دستگاه برمی‌گردد و از درون فیلتر هوا (۲) عبور می‌کند. بادزن گردش هوا (circulating blower) (۳) که جزئی از قسمت داخلی پمپ حرارتی (۴) است در طی فصل گرمایش، گرمای مورد نیاز را ازطریق کویل (۴) تأمین می‌کند. برای زمانی که درجه‌حرارت هوای بیرون بسیار کم است و یا هنگامی که مشغول ذوب‌کردن یخ زدگی دستگاه هستید، یک گرمکن الکتریکی (۵) حرارت مورد نیاز را تأمین خواهد کرد. مقدار رطوبت لازم توسط یک رطوبت زن (۱۰) به هوای گرم افزوده می‌شود. این هوای گرم و مرطوب ازطریق کانال رفت (۹) به درون ساختمان هدایت خواهد شد. در هنگام سرمایش، هوای درحال گردش از روی کویل (۶) عبور می‌کند و حرارت و رطوبت خود را ازدست می‌دهد. توسط لوله‌های مبرّد (۱) کویل سرمایش به واحد تقطیر که در بیرون قرار دارد متصل می‌شود. رطوبت تقطیر شده بر روی سطح کویل اواپراتور ازطریق لولهٔ (۸) خارج می‌شود.

جدول ۱-۱۰ سیستم‌های گرمایش و سرمایش در ساختمانهای مسکونی

	تغذیه هوا	آبی	منطقه‌ای
Most Common Energy Sources	Gas Oil Electricity Resistance Heat pump	Gas Oil Electricity Resistance Heat pump	Gas Electricity Resistance Heat pump
Heat Distribution Medium	Air	Water Steam	Air Water Refrigerant
Heat Distribution System	Ducting	Piping	Ducting Piping or None
Terminal Devices	Diffusers Registers Grilles	Radiators Radiant panels Fan-coil units	Included with product

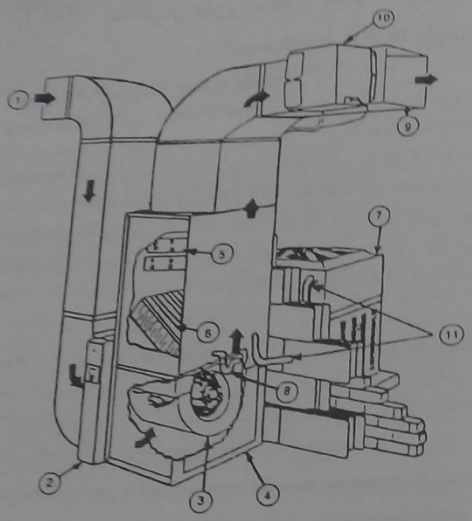


شکل ۲-۱۰ نمونهٔ سیستم گرمایش، سرمایش، رطوبت‌زنی و تصفیهٔ هوا در ساختمانهای مسکونی

در ایالات متحده آمریکا استفاده از سیستم‌های یکپارچه‌ای (package) که در آنها تمام تجهیزات در یک قاب قرار دارند نیز رایج است. درجاهایی که ساختمان‌های مسکونی دارای سیستم کانال‌کشی در فضای خزیده روی زیر کف طبقهٔ همکف (crawl space) هستند و یا در مکان‌هایی که می‌توان این دستگاه‌ها را در روی بام نصب و به سیستم کانال کشی درون فضای زیر شیروانی متصل کرد، از این سیستم‌ها به‌طور وسیع استفاده می‌شود.

سیستم‌های منطقه‌ای (zonal system) برای این منظور طراحی شده‌اند که در هر زمان فقط یک بخش از ساختمان را تهویه کنند. این سیستم‌ها می‌توانند واحدهای اتاقی (room unit) یا سیستم‌های مرکزی‌ای باشند که به شبکه‌های توزیع منطقه‌ای (zoned distributed network) متصل هستند. در ساختمان‌های ویلایی می‌توان از سیستم‌های مرکزی‌ای که دارای چندسری تجهیزات هستند و هر سری از این تجهیزات یک طبقه یا قسمت را تغذیه می‌کنند استفاده کرد.

منبع انرژی اصلی‌ترین عامل انتخاب سیستم گرمایش است. برای تأمین گرمایش، گاز و الکتریسیته متداول‌ترین منابع هستند ولی از نفت، چوب، انرژی خورشیدی، انرژی زمین گرمایی (geothermal)، ذغال سنگ، انرژی حرارتی ناحیه‌ای (distric thermal) و حرارت تلف‌شده (waste heat) نیز برای این کار استفاده می‌شود. قیمت نسبی سوخت، ایمنی و مسائل زیست محیطی (برای هوای داخل و خارج) از جمله عواملی هستند که در انتخاب منبع انرژی گرمایی باید درنظر گرفت. وقتی منابع انرژی موجود متنوع باشند، انتخاب منبع انرژی متأثر از جنبه‌های اقتصادی است. برای تأمین سرمایش غالباً از انرژی الکتریکی استفاده می‌شود.



شکل ۳-۱۰

۲-۱۰ تعیین ظرفیت تجهیزات (equipment sizing)

برای انتخاب تجهیزاتی که بتوانند نیازهای پروژه را برآورده کنند، باید بارهای سرمایشی و گرمایشی هر اتاق و بارهای ناشی از عبور کانال‌ها و لوله‌ها از درون فضاهای فاقد تهویه مطبوع (unconditioned space) را دقیقاً محاسبه کرد. برای تعیین دقیق بار سرمایشی و گرمایشی باید پلان طبقه و جزئیات ساختمان مشخص باشد. بر روی پلان باید اطلاعات مربوط به دیوار، سقف، کف، نوع و ضخامت عایق‌ها ذکر شده باشد. طرح پنجره‌ها و جزئیات درهای بیرونی نیز مورد نیاز است. برمبنای این اطلاعات می‌توان بارهای گرمایشی و سرمایشی را براساس روش‌های ارائه شده در بخش اوّل همین کتاب محاسبه کرد.

تطبیق‌دادن صحیح ظرفیت تجهیزات با بارهای سرمایشی و گرمایشی محاسبه شده در طرح، بسیار مهم است. استفاده از تجهیزات کوچکتر از حدّ نیاز باعث می‌گردد نتوان شرایط درنظر گرفته شده را در داخل ساختمان ایجاد کرد.

از سوی دیگر، انتخاب تجهیزات بزرگتر از حد نیاز نیز موجب می‌شود به‌دلیل کوتاه‌بودن کار دستگاه، درجه‌حرارت داخل فضا نوسان کند (temperature swing) و رطوبت‌گیری (dehumidification) به‌طور صحیح انجام نشود. همچنین بیش از حد نیازبودن ظرفیت تجهیزات می‌تواند باعث مصرف انرژی بیشتر (به‌دلیل افزایش اتلافات حرارتی) نیز بشود. تجهیزاتی که ظرفیت آنها متغیر است (پمپ‌های حرارتی، کوره‌ها و...) با بارهای ساختمان انطباق بهتری دارند و مقدار اتلافات را کاهش و سطح آسایش را بهبود می‌بخشند.

۱۰-۳ ساختمان‌های مسکونی تک‌واحدی (single family residenees)

تجهیزات گرمایشی (heating equipment)

پمپ‌های حرارتی (heat pumps)- پمپ‌های حرارتی را می‌توان براساس نوع منبع حرارتی و سیال واسطهٔ توزیع گرمایش (heating medium) گروه‌بندی کرد. متداول‌ترین پمپ‌های حرارتی از نوع هوا به هوا (air - to - air) و آب به هوا (water - to - air) هستند. معمولاً منبع حرارتی برای سرمایش و گرمایش یکی هستند. در سیستم‌های پمپ حرارتی می‌توان در صورت امکان از هوای آزاد یا آب‌های زیرزمینی به‌عنوان منبع حرارتی استفاده کرد. سیستم‌های نوع اول را هوا به هوا و سیستم‌های نوع دوم را آب به هوا گویند.

کوره‌های هوای گرم (furnaces)- سوخت این کوره‌ها می‌تواند گاز (طبیعی یا پروپان)، برق، نفت و گازوئیل، چوب و یا سایر مواد سوختنی باشد. هوای مورد نیاز برای احتراق در کوره‌های با سوخت نفت، گاز، گازوئیل و چوب را می‌توان از هوای خارج و یا از هوای داخل تأمین کرد.

سیستم‌های گرمایش با آب (hydronic heating systems)- اگرچه با رشد تقاضا برای سیستم‌های سرمایش مرکزی، استفاده از سیستم‌های گرمایش با آب با رکورد روبرو شده است ولی هنوز در بسیاری از نقاط سردسیر از این سیستم استفاده می‌شود. در این سیستم، سیال در درون دیگ‌های آبگرم (boilers) حرارت را دریافت و آن را ازطریق سیستم لوله‌کشی بین واحدهای پایانه (فن‌کویل، رادیاتور و پانل‌های تشعشعی) توزیع می‌کند. درجه‌حرارت آب درون دیگ برمبنای ملاحظات اقتصادی و تأمین آسایش (comfort) تعیین می‌گردد. زیادتربودن درجه‌حرارت آب مترادف است با کمترشدن سرمایه‌گذاری اولیه، زیرا واحدهای پایانهٔ (terminal units) مورد نیاز کوچکتر خواهند بود. در عین حال، این عامل موجب افزایش اتلاف حرارت و هزینه‌های بهره‌برداری می‌شود به‌دلیل این‌که واحدهای پایانه فقط در چند نقطه وجود دارند [توجه شود که وقتی درجه‌حرارت آب کمتر باشد، ظرفیت تجهیزات پایانه نیز کمتر خواهد بود و می‌توان تعداد آنها را بیشتر درنظر گرفت]، سطح آسایش و راحتی کاهش خواهد یافت. محدودهٔ درجه‌حرارت‌های طراحی عموماً 180 تا 200°F است. برای سیتم‌های پانل تشعشعی (radiant panel system)، محدودهٔ درجه‌حرارت 110 تا 170 می‌باشد.

سیستم‌های گرمایش منطقه‌ای (zonal heating systems)- در این سیستم‌ها می‌توان درجه‌حرارت فضاهای خالی را در فصل زمستان کمتر و در فصل تابستان بیشتر از درجه‌حرارت فضاهای دارای افراد درنظر گرفت و بدین ترتیب در هزینه‌های بهره‌برداری صرفه‌جویی کرد. در سیستم گرمایش منطقه‌ای، درجه‌حرارت فضاهای عمومی را در شب و درجه‌حرارت فضاهای اتاق خواب را در روز می‌توان کمتر انتخاب کرد. یک روش گرمایش منطقه‌ای در سیستم‌های مرکزی که هوا سیال تأمین‌کنندهٔ بارهای حرارتی فضای مورد نظر است، استفاده از دمپر، ترموستات و سیستم کنترل اختصاصی برای هر منطقه است. دمپرها می‌توانند از نوع حجم متغیر (variable volum) یا دووضعیتی (باز-بسته) باشند.

گرمایش خورشیدی (solar heating)- برای گرمایش ساختمان‌های مسکونی از هر دو نوع سیستم‌های فعال (active) و غیرفعال (passive) انرژی خورشیدی می‌توان استفاده کرد. در سیستم‌های فعال، جمع‌کننده‌های صفحه‌ای (flat plate callector) باعث گرم‌شدن هوا یا آب می‌شوند. سپس از هوای گرم شده برای گرمایش فضاهای نشیمن یا برای گرمایش سیال واسطهٔ ذخیرهٔ حرارت (thermal storage medium) استفاده می‌گردد. در سیستم‌های آبی (hydronic)، آب گرم شده از درون یک مبدل حرارتی ثانویه عبور می‌کند و حرارت اضافی را به آب درون مخزن انتقال می‌دهد.

۱۰-۴ ساختمان‌های مسکونی چند واحدی (multifamily residences)

تجهیزات سرمایشی و گرمایشی در منازل مسکونی‌ای که به‌صورت مجتمع‌های تک‌واحدی یا آپارتمان‌های چندطبقه ساخته می‌شوند معمولاً مشابه ساختمان‌های تک‌واحدی است. استفاده از سیستم مجزا برای هر واحد این امکان را می‌دهد که کنترل هر واحد به‌صورت مستقل انجام شود و مقدار انرژی مصرفی هر واحد را بتوان اندازه‌گیری کرد.

سیستم‌های مرکزی با جریان اجباری هوا (centeral forced - air systems)- در ساختمان‌های مرتفع چندواحدی نیز می‌توان از تجهیزات سرمایشی و گرمایشی به‌کار برده شده در ساختمان‌های تک واحدی استفاده کرد. این تجهیزات می‌توانند در داخل اتاق تجهیزات هر آپارتمان یا در فضای زیرپله‌ها یا بالای سقف کاذب کریدور و یا انباری نصب شوند. از کوره‌های کوچک هوای گرم مناسب برای ساختمان‌های مسکونی نیز می‌توان استفاده کرد ولی باید پیش‌بینی‌های لازم برای تامین هوای احتراق و تخلیهٔ محصولات احتراق به‌عمل آید. برای تخلیهٔ محصولات احتراق می‌توان از چندین دودکش یا از یک سیستم دودکش مانیفولدی (manifold type vent) استفاده کرد. قبل از اتخاذ تصمیم باید مقررات محلی موجود در این مورد را نیز درنظر گرفت.

روش دیگری که برای ساختمان‌های مسکونی چندواحدی نیز (همانند ساختمان‌های مسکونی تک‌واحدی) قابل استفاده است، سیستم ترکیبی گرمایش آب مصرفی/گرمایش فضا (water heating / space heating) است که در آن از آب درون مخزن ذخیرهٔ آبگرم مصرفی برای گرمایش فضا استفاده می‌شود. در این سیستم، آب از یک مخزن ذخیره به کویل آبی موجود در دستگاه تغذیهٔ هوا گردش می‌کند. برای سرمایش این فضاها می‌توان از یک دستگاه تهویه مطبوع دو تکه (split system) که اواپراتور آن درون دستگاه انتقال‌دهنده هوا (air handler) است استفاده کرد.

سیستم‌های مرکزی با آب (hydronic centeral system)- استفاده از واحدهای سرمایش و گرمایش انحصاری در ساختمان‌های مرتفع همیشه میسّر و عملی نیست. در چنین مواردی از سیستم‌های مرکزی استفاده می‌شود. در آپارتمان‌های مرتفع به‌طور گسترده از سیستم‌های مرکزی با آب از نوع دولوله‌ای یا چهار لوله‌ای استفاده می‌گردد. هر واحد مسکونی دارای دستگاه‌های تهویه مطبوع اتاقی و یا فن‌کویل‌های کانالی مختص به خود

است. سیستم‌های چهار لوله‌ای، انعطاف‌پذیرترین سیستم آبی با کمترین هزینه بهره‌برداری است که با آن می‌توان برای هر واحد مسکونی سرمایش و گرمایش لازم را تأمین کرد.

سیستم‌های دولوله‌ای انعطاف‌پذیری کمتری دارند و به‌وسیلهٔ آن می‌توان سرمایش و گرمایش همزمان را تأمین کرد. چنین محدودیتی باعث بروز مشکل در طی فصول پاییز و بهار که برخی از آپارتمان‌های یک مجموعه نیاز به گرمایش و سایر آپارتمان‌ها (به‌دلیل وجود بارهای داخلی) نیاز به سرمایش دارند، می‌شود. این مشکل را می‌توان با استفاده از سیستم دولوله‌ای سوی تأمین سرمایش و استفاده از گرمکن الکتریکی برای فضاهایی که نیاز به اندکی گرمایش دارند، مرتفع ساخت.

واحدهای دیواری (through - the - wall units)ـ واحدهای تهویه مطبوع دیواری، پکیج‌های تهویه مطبوعی که در فضای موردنظر نصب می‌شوند (PTAC) و پمپ‌های حرارتی یکپارچهٔ (PTHP) بیشترین انعطاف‌پذیری را برای اتاق‌ها فراهم می‌کنند. در هر اتاقی که دارای دیوار خارجی باشد می‌توان از این واحدها استفاده کرد. در بازسازی ساختمان‌های قدیمی معمولاً از این‌گونه تجهیزات استفاده می‌کنند زیرا نیازی به اصلاح سیستم‌های لوله‌کشی و کانال‌کشی ندارند.

سیستم پمپ حرارتی با مدار آبی (water- loop heat pump)ـ در ساختمان‌های دارای ارتفاع متوسط یا زیاد که در مناطق میانی (interior zone) آنها مقدار بارهای داخلی زیاد است و در تمام سال نیاز به سرمایش دارند، می‌توان از سیستم پمپ حرارتی با مدار آبی استفاده کرد. این سیستم دارای کنترل و انعطاف‌پذیری بیشتری از سیستم‌های چهار لوله‌ای است ولی در آن فقط دو لوله وجود دارد. در این سیستم می‌توان مقدار انرژی ورودی به هر آپارتمان را اندازه‌گیری کرد و فقط هزینه‌های تاسیسات عمومی (از قبیل پمپ‌های گردش آب، برج خنک‌کن و دیگ) مشترک خواهد بود. برای صرفه‌جویی اقتصادی می‌توان در عوض دیگ از انرژی خورشیدی یا زمین گرمایی استفاده کرد.

۱۰-۵ موارد خاص در ساختمان‌های آپارتمانی

برای تأمین هوای تازه در ساختمان‌های آپارتمانی از سیستم‌های متفاوتی استفاده می‌شود. طبق استاندارد 62 انجمن ASHRAE حمام و توالت باید دارای پنجره بازشو به هوای آزاد باشند و یا حداقل 50 cfm هوای آزاد به‌طور منقطع و یا 25 cfm به‌طور پیوسته به آن‌ها تغذیه شود. برای آشپزخانه مقدار هوای تازه 100 cfm به‌طور منقطع یا 25 cfm به‌طور پیوسته و دائمی است.

در برخی از ساختمان‌ها که از سیستم‌های مرکزی برای تخلیه و تغذیهٔ هوا استفاده می‌شود، سیستم‌ها دارای کنترل زمانی هستند و در زمان‌های خاصی از شبانه‌روز کار می‌کنند. در سایر اوقات و یا زمانی که هوای خارج فوق‌العاده سرد است، مقدار هوای تازه کاملاً قطع و یا کاهش می‌یابد. در ساختمان‌هایی که سیستم‌های تغذیه و تخلیهٔ هوای آنان در طول ۲۴ ساعت به‌طور مداوم کار می‌کنند می‌توان از سیستم‌های بازیافت حرارت (heat recovery) استفاده کرد. با استفاده از این سیستم حدود 40 تا 80% گرمای نهان و محسوس را از هوای درحال تخلیه به هوای تازه منتقل می‌کنند.

در ساختمان‌های مرتفع که حتی واحدهای مسکونی پیرامونی آنها نیز فاقد بازشو برای تأمین هوای تازه هستند، نمی‌توان فقط با افزایش فشار نسبی ساختمان مقدار نفوذ هوا (infilteration) را در طول سال کنترل کرد. وقتی دیوارهای خارجی ساختمان برای تغذیهٔ هوای تازه به تجهیزاتی چون فن‌کویل سوراخ شده باشند، ترکیب اثر با دو اثر دودکسی (حرکت هوا به سمت بالا در اثر تغییر چگالی هوای گرم) باعث ایجاد مشکلات دیگری خواهد شد.

باید فشار نسبی راهروهای عمومی داخل ساختمان‌های آپارتمانی مثبت و دفعات تعویض هوای آن‌ها دو بار در ساعت باشد. برای تغذیهٔ هوای تازه به این راهروها ترجیحاً از هوای سرد یا گرم شده استفاده کنید. در برخی از طرح‌ها برای تأمین هوای جایگزین (makeup air) آشپزخانه‌ها و توالت‌ها، در صورت لزوم از لورهایی (louvers) که بر روی درب واحدهای مسکونی نصب می‌شوند استفاده می‌گردد. ازطریق این لورها، هوای تازهٔ تغذیه شده به راهروها به درون آپارتمان‌ها انتقال می‌یابد. تغذیهٔ هوا از راهرو به واحدهای مسکونی موجب می‌گردد که انتشار بو از آپارتمان به سمت راهرو به حداقل مقدار ممکن برسد.

تجهیزات تهویه مطبوع باید ازنظر صدا و ارتعاش عایق شوند. موقعیت برج خنک‌کن باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که باعث برهم‌زدن آسایش ساکنین و همسایگان ساختمان‌های مجاور نگردد.

فصل ۳۸

لوله‌ها و اتصالات

(PIPES, TUBES, AND FITTINGS)

در این فصل نحوهٔ انتخاب، کاربرد و نصب لوله‌ها و اتصالات مورد استفاده در سیستم‌های گرمایش، تهویه مطبوع، و تبرید بیان شده است. همچنین، در مورد آویزهای لوله (pipe hangers) و انبساط لوله‌ها (pipe expansion) نیز بحث خواهد شد.

استانداردها و مقررات مربوط به شیرها، لوله‌کشی‌ها و اتصالات سیستم‌های لوله‌کشی مورد تأیید سازمان‌های زیر می‌باشد:

ASME- انجمن آمریکایی مهندسین مکانیک

ASTM- انجمن آمریکایی آزمایشات و مواد

NFPA- اتحادیهٔ ملّی حفاظت در برابر آتش

MSS- اتحادیهٔ استاندارد سازندگان شیر و اتصالات

AWWA- اتحادیهٔ امریکایی کارهای آبی (water works)

۳۸-۱ لوله‌ها

۳۸-۱-۱ لوله‌های فولادی (steel pipes)

لوله‌های فولادی به چند طریق ساخته می‌شوند. لوله‌های بدون درز (seamless) که فاقد درز طولی هستند به‌روش اکسترودکردن (extruding) ساخته می‌شوند. در لوله‌های درزدار، ابتدا ورق به‌صورت استوانه درآورده می‌شود و سپس درز طولی آن را جوش می‌دهند.

در استاندارد B 36.10M از اتحادیهٔ ASME، استاندارد ابعاد لوله‌های فولادی مشخص شده است. برای لوله‌های تا قطر 12 in از قطر اسمی لوله (nominal pipe zise یا NPS) استفاده می‌شود که با قطرهای خارجی و داخلی لوله مطابقت ندارند. برای لوله‌های با قطر 14 in و بیشتر، اندازهٔ لوله براساس قطر خارجی آن بیان می‌گردد.

ضخامت جدارهٔ لوله‌های فولادی براساس رده (schedule) و وزن لوله تعریف می‌شود. برای لوله‌های تا قطر 10 in، ضخامت جدارهٔ لوله‌های با وزن استاندارد (STD) و لوله‌های ردهٔ 4 برابر هستند. در لوله‌های با قطر برابر یا بیشتر از 12 in، ضخامت جدارهٔ لوله‌های با وزن استاندارد در 0.375 in ثابت باقی می‌ماند ولی ضخامت جدارهٔ لوله‌های ردهٔ 40 با افزایش قطر لوله، ازدیاد می‌یابد. چنین تشابهی (euality) بین لوله‌های جدار ضخیم (extra strong یا XS) و لوله‌های ردهٔ 80 نیز تا لوله‌های به قطر 8 in وجود دارد. در لوله‌های با قطر بیشتر از 8 in، ضخامت جدارهٔ لوله‌های XS برابر با 0.5 in است ولی در لوله‌های ردهٔ 80 با افزایش قطر لوله، ضخامت جدارهٔ آن نیز افزوده می‌گردد. جدول (۱-۳۸) مشخصات لوله‌های فولادی را نشان می‌دهد.

اتصال لوله‌های فولادی از نوع جوشی، رزوه‌ای، یا فلنجی هستند. اتصال مستقیم انشعابات به لولهٔ اصلی باعث تضعیف لولهٔ اصلی می‌شود و تقویت محل جوشکاری شده (reinforcement) ضرورت دارد.

در استاندارد B31.1 از اتحادیهٔ ASME، فرمول‌های تعیین اینکه آیا استفاده از تقویت‌کننده (reinforcement) ضرورت دارد یا خیر؟ ارائه شده است. انجام چنین محاسباتی به‌ندرت در کاربردی‌های HVAC ضرورت می‌یابد زیرا (۱) لوله‌های با وزن استاندارد تا قطر 20 in در فشار 300 psia نیاز به تقویت‌کننده (reinforcement) ندارند [البته، توصیه می‌شود انشعاباتی که قطر آنها برابر با قطر خط اصلی است، مستقیماً به خط اصلی وصل نگردند]؛ و (۲) اتصالاتی چون سه‌راهی‌ها (tees) و اتصالاتی که دهانه‌های آنها تقویت شده و ضخیم‌تر می‌باشند (reinforced outlet) باعث تقویت سیستم می‌شوند.

۳۸-۱-۲ لوله‌های مسی (copper tubes)

به‌دلیل مقاومت ذاتی لوله‌های ساخته شده از مس یا آلیاژهای مس در برابر خوردگی و سهولت نصب آنها، در تأسیسات تهویه مطبوع، تبرید و آبرسانی غالباً از این نوع لوله‌ها استفاده می‌شود. دو گروه اصلی لولهٔ مسی وجود دارد. در استاندارد B88 از اتحادیهٔ ASTM، لوله‌های مسی در انواع K، L، M و DWV (که مخصوص آب و تخلیه است) تقسیم‌بندی شده‌اند.

حروف K، L، M و DWV نشانگر ضخامت جدارهٔ لوله‌های مسی هستند. قطر خارجی تمام انواع لوله‌های مسی برای یک قطر مشخص، با یکدیگر برابر هستند. جدول (۲-۳۸) خواص لوله‌های مسی را طبق استاندارد ASTM B88 نشان می‌دهد. لوله‌های مسی نوع K، L و M می‌توانند از نوع سخت (hard drawn) یا نرم (annealed temper) باشند.

۳۸-۱-۳ لوله‌های چدن و چدن‌نشکن (ductile iron and cast iron)

لوله‌های چدنی فاضلابی (soil cast iron pipe) را نباید در مواردی که تحت فشار قرار می‌گیرند استفاده کرد زیرا، این لوله‌ها برای این‌کار مناسب

جدول ۱-۳۸ مشخصات لوله‌های فولادی

اندازه اسمی in.	قطر خارجی لوله in.	شماره رده یا وزن a	ضخامت جداره t,in.	قطر داخلی d,in.	مساحت سطح خارج ft^2/ft	مساحت سطح داخل ft^2/ft	سطح مقطع سطح فلز in^2	سطح مقطع سطح عبور in^2 جریان	وزن لوله lb/ft	وزن آب lb/ft	فشار کار(C) ASTM A53 B to 400°F نوع اتصال b	روش ساخت	psig
1/4	0.540	40 ST	0.088	0.364	0.141	0.095	0.125	0.104	0.424	0.045	T	CW	188
		80 XS	0.119	0.302	0.141	0.079	0.157	0.072	0.535	0.031	T	CW	871
3/8	0.675	40 ST	0.091	0.493	0.177	0.129	0.167	0.191	0.567	0.083	T	CW	203
		80 XS	0.126	0.423	0.177	0.111	0.217	0.141	0.738	0.061	T	CW	920
1/2	0.840	40 ST	0.109	0.622	0.220	0.163	0.250	0.304	0.850	0.131	T	CW	214
		80 XS	0.147	0.546	0.220	0.143	0.320	0.234	1.087	0.101	T	CW	751
3/4	1.050	40 ST	0.113	0.824	0.275	0.216	0.333	0.533	1.13	0.231	T	CW	217
		80 XS	0.154	0.742	0.275	0.194	0.433	0.432	1.47	0.187	T	CW	681
1	1.315	40 ST	0.133	1.049	0.344	0.275	0.494	0.864	1.68	0.374	T	CW	226
		80 XS	0.179	0.957	0.344	0.251	0.639	0.719	2.17	0.311	T	CW	642
1-1/4	1.660	40 ST	0.140	1.380	0.435	0.361	0.669	1.50	2.27	0.647	T	CW	229
		80 XS	0.191	1.278	0.435	0.335	0.881	1.28	2.99	0.555	T	CW	594
1-1/2	1.900	40 ST	0.145	1.610	0.497	0.421	0.799	2.04	2.72	0.881	T	CW	231
		80 XS	0.200	1.500	0.497	0.393	1.068	1.77	3.63	0.765	T	CW	576
2	2.375	40 ST	0.154	2.067	0.622	0.541	1.07	3.36	3.65	1.45	T	CW	230
		80 XS	0.218	1.939	0.622	0.508	1.48	2.95	5.02	1.28	T	CW	551
2-1/2	2.875	40 ST	0.203	2.469	0.753	0.646	1.70	4.79	5.79	2.07	W	CW	533
		80 XS	0.276	2.323	0.753	0.608	2.25	4.24	7.66	1.83	W	CW	835
3	3.500	40 ST	0.216	3.068	0.916	0.803	2.23	7.39	7.57	3.20	W	CW	482
		80 XS	0.300	2.900	0.916	0.759	3.02	6.60	10.25	2.86	W	CW	767
4	4.500	40 ST	0.237	4.026	1.178	1.054	3.17	12.73	10.78	5.51	W	CW	430
		80 XS	0.337	3.826	1.178	1.002	4.41	11.50	14.97	4.98	W	CW	695
6	6.625	40 ST	0.280	6.065	1.734	1.588	5.58	28.89	18.96	12.50	ERW	W	696
		80 XS	0.432	5.761	1.734	1.508	8.40	26.07	28.55	11.28	ERW	W	1209
8	8.625	30	0.277	8.071	2.258	2.113	7.26	51.16	24.68	22.14	ERW	W	526
		40 ST	0.322	7.981	2.258	2.089	8.40	50.03	28.53	21.65	ERW	W	643
		80 XS	0.500	7.625	2.258	1.996	12.76	45.66	43.35	19.76	ERW	W	1106
10	10.75	30	0.307	10.136	2.814	2.654	10.07	80.69	34.21	34.92	ERW	W	485
		40 ST	0.365	10.020	2.814	2.623	11.91	78.85	40.45	34.12	ERW	W	606
		XS	0.500	9.750	2.814	2.552	16.10	74.66	54.69	32.31	ERW	W	887
		80	0.593	9.564	2.814	2.504	18.92	71.84	64.28	31.09	ERW	W	1081
12	12.75	30	0.330	12.090	3.338	3.165	12.88	114.8	43.74	49.68	ERW	W	449
		ST	0.375	12.000	3.338	3.141	14.58	113.1	49.52	48.94	ERW	W	528
		40	0.406	11.938	3.338	3.125	15.74	111.9	53.48	48.44	ERW	W	583
		XS	0.500	11.750	3.338	3.076	19.24	108.4	65.37	46.92	ERW	W	748
		80	0.687	11.376	3.338	2.978	26.03	101.6	88.44	43.98	ERW	W	1076
14	14.00	30 ST	0.375	13.250	3.665	3.469	16.05	137.9	54.53	59.67	ERW	W	481
		40	0.437	13.126	3.665	3.436	18.62	135.3	63.25	58.56	ERW	W	580
		XS	0.500	13.000	3.665	3.403	21.21	132.7	72.04	57.44	ERW	W	681
		80	0.750	12.500	3.665	3.272	31.22	122.7	106.05	53.11	ERW	W	1081
16	16.00	30 ST	0.375	15.250	4.189	3.992	18.41	182.6	62.53	79.04	ERW	W	421
		40 XS	0.500	15.000	4.189	3.927	24.35	176.7	82.71	76.47	ERW	W	596
18	18.00	ST	0.375	17.250	4.712	4.516	20.76	233.7	70.54	101.13	ERW	W	374
		30	0.437	17.126	4.712	4.483	24.11	230.3	81.91	99.68	ERW	W	451
		XS	0.500	17.000	4.712	4.450	27.49	227.0	93.38	98.22	ERW	W	530
		40	0.562	16.876	4.712	4.418	30.79	223.7	104.59	96.80	ERW	W	607
20	20.00	20 ST	0.375	19.250	5.236	5.039	23.12	291.0	78.54	125.94	ERW	W	337
		30 XS	0.500	19.000	5.236	4.974	30.63	283.5	104.05	122.69	ERW	W	477
		40	0.593	18.814	5.236	4.925	36.15	278.0	122.82	120.30	ERW	W	581

a Numbers are schedule numbers per ASME *Standard* B36.10M; ST = Standard Weight; XS = Extra Strong.

b T = Thread; W = Weld.

Working pressures were calculated per ASME B31.9 using furnace butt-weld (continuous weld, CW) pipe through 4 in. and electric resistance weld (ERW) thereafter. The allowance A has been taken as

(1) 12.5% of *t* for mill tolerance on pipe wall thickness, *plus*

(2) An arbitrary corrosion allowance of 0.025 in. for pipe sizes through NPS 2 and 0.065 in. from NPS 2½ through 20, *plus*

(3) A thread cutting allowance for sizes through NPS 2.

Because the pipe wall thickness of threaded standard pipe is so small after deducting the allowance A, the mechanical strength of the pipe is impaired. It is good practice to limit standard weight threaded pipe pressure to 90 psig for steam and 125 psig for water.

بیستند و اتصالات آنها تحمل فشار را نخواهد داشت. در مواردی که لوله تحت فشار قرار می‌گیرد، می‌توان در عوض لوله‌های چدنی، از لوله‌های چدن‌نشکن (ductile iron) استفاده نمود. این نوع لوله معمولاً برای خطوط اصلی آبرسانی تحت فشار یا سایر مواردی که سطوح داخلی و خارجی لوله با خطر خوردگی مواجه است، به‌کار برده می‌شود. اتصال این نوع لوله‌ها به‌صورت فلنجی، مکانیکی، و یا با استفاده از واشر لاستیکی (elastomer) انجام می‌گیرد.

۳۸-۲ انتخاب جنس لوله

در هر سیستم HVAC و یا در هر قسمت از یک سیستم HVAC، باید جنس مناسب برای لوله‌کشی را تعیین کرد. برای مثال، چون فشار استاتیک در طبقات تحتانی ساختمان‌های مرتفع، بیشتر از مقدار آن در طبقات فوقانی است بنابراین شاید لازم باشد برای منطقه‌های عمودی مختلف (vertical zones) از جنس‌های متفاوت استفاده شود.

در هنگام انتخاب جنس سیستم لوله‌کشی باید عوامل زیر را درنظر گرفت:

- الزامات مقررات و قوانین
- نوع سیال درون لوله (working fluid)
- فشار و درجه‌حرارت سیال
- محیط خارجی لوله (external enviroment)
- هزینه‌های تهیه و نصب

در جدول (۳-۳۸) جنس لوله‌های، اتصالات و شیرهای مورد استفاده در سیستم‌های لوله‌کشی گرمایش و تهویه مطبوع دیده می‌شود.

جدول ۳-۳۸ کاربرد لوله، اتصالات و شیرها در تهویه مطبوع و گرمایش

کاربرد	جنس لوله	وزن	نوع اتصالات	اتصالات: کلاس	اتصالات: جنس	سیستم: درجه حرارت °F	سیستم: حداکثر فشار در درجه حرارت a psig
لوله آب در گردش	Steel (CW)	Standard	Thread	125	Cast iron	250	125
2 in و کوچکتر	Copper, hard	Type L	Braze or silver solder[b]	a حرارت	Wrought copper	250	150
	PVC	Sch 80	Solvent	Sch 80	PVC	75	
	CPVC	Sch 80	Solvent	Sch 80	CPVC	150	
	PB	SDR-11	Heat fusion		PB	160	
			Insert crimp		Metal	160	
12 in تا 2.5	A53 B ERW Steel	Standard	Weld	Standard	Wrought steel	250	400
			Flange	150	Wrought steel	250	250
			Flange	125	Cast iron	250	175
			Flange	250	Cast iron	250	400
			Groove		MI or ductile iron	230	300
	PB	SDR-11	Heat fusion		PB	160	
بخار آب و کندانسیت	Steel (CW)	Standard[c]	Thread	125	Cast iron		90
2 in و کوچکتر			Thread	150	Malleable iron		90
	A53 B ERW Steel	Standard[c]	Thread	125	Cast iron		100
			Thread	150	Malleable iron		125
	A53 B ERW Steel	XS	Thread	250	Cast iron		200
			Thread	300	Malleable iron		250
12 in تا 2.5	Steel	Standard	Weld	Standard	Wrought steel		250
			Flange	150	Wrought steel		200
			Flange	125	Cast iron		100
	A53 B ERW Steel	XS	Weld	XS	Wrought steel		700
			Flange	300	Wrought steel		500
			Flange	250	Cast iron		200
مبرد	Copper, hard	Type L or K	Braze		Wrought copper		
	A53 B SML Steel	Standard	Weld		Wrought steel		
لوله‌های درون خاک							
2 in تا	Copper, hard	Type K	Braze or silver solder[b]		Wrought copper	75	350
in تا	Ductile iron	Class 50	MJ	MJ	Cast iron	75	250
	PB	SDR 9, 11	Heat fusion		PB	75	
		SDR 7, 11.5	Insert crimp		Metal	75	
آب آشامید	Copper, hard	Type L	Braze or silver solder[b]		Wrought copper	75	350
داخل ساخت	Steel, galvanized	Standard	Thread	125	Galv. cast iron	75	125
				150	Galv. mall. iron	75	125
	PB	SDR-11	Heat fusion		PB	75	

۳۸-۳ اجزاء نگهدارندهٔ لوله
(pipe supporting elements)

اجزاء نگهدارنده لوله، سه نوع هستند:

۱. آویزها (hangers) که لوله را از بالا نگه می‌دارند.
۲. تکیه‌گاه‌ها (supports) که بار را از زیر نگه می‌دارند.
۳. محدودکننده‌های لوله (restraints) از قبیل مهارها یا تکیه‌گاه‌های ثابت (anchors) و هادی‌ها (guids) که جابجایی لوله را محدود و یا جهت‌دار می‌کنند.

نگهدارنده‌های لوله باید تمام شرایط استاتیکی و دینامیکی (از جمله موارد ذیل) را تحمل کنند:

- وزن لوله، شیرها، اتصالات، عایق، و سیال درون لوله
- بارهای غیردائمی مانند یخ، باد، و نیروهای ارتعاشی
- نیروهای حاصل از انبساط و انقباض خم‌ها و حلقه‌های لوله (pipe bends and loops)
- نیروهای حاصل از اصطکاک و فنری‌بودن قطعات انبساطی (expansion joints) موجود در سیستم
- نیروهای اصطکاکی حاصل از تکیه‌گاه‌ها و هادی‌ها
- سایر نیروها از قبیل ضربهٔ قوچ، ارتعاشات و نیروهای عکس‌العملی شیرهای اطمینان
- بارها و نیروهای آزمایش

جدول (۴-۳۸) فواصل پیشنهادی برای تکیه‌گاه‌های لوله و جدول ۵-۳۸) حداکثر مقدار بار مطمئن برای آویزهای فولادی رزوه‌دار را نشان ی دهد.

مقدار بارهای وارد بر اکثر اجزاء نگهدارندهٔ لوله‌ها، معمولاً متوسط است اجزاء نگهدارنده را می‌توان براساس اطلاعات ارائه شده از سوی

ول ۴-۳۸ مقادیر پیشنهادی برای فاصلهٔ بین آویزها و قطر میله‌های آویز در عابات افقی و مستقیم

قطر میله	فاصله بین دو تکیه‌گاه			قطر خارجی
	لوله مسی	لوله فولادی استاندارد a		
in	آب	بخار آب	آب	in.
1/4	5	8	7	1/2
1/4	5	9	7	3/4
1/4	6	9	7	1
3/8	8	12	9	1-1/2
3/8	8	13	10	2
3/8	9	14	11	2-1/2
3/	10	15	12	3
1/	12	17	14	4
1/	14	21	17	6
5/	16	24	19	8
3	18	26	20	10
7	19	30	23	12
		32	25	14
		35	27	16
1		37	28	18
1		39	30	20

Source: Adapted from MSS *Standard* SP-69

[a] Spacing does not apply where span calculations are made or where co loads are placed between supports such as flanges, valves, specialties, etc

جدول ۵-۳۸ ظرفیت میله‌های رزوه شده از جنس فولاد ASTM A36

قطر میله	مساحت ریشه پیچ،	حداکثر بار مجاز [a]
in.	in^2	lb
1/4	0.027	240
3/8	0.068	610
1/2	0.126	1130
5/8	0.202	1810
3/4	0.302	2710
7/8	0.419	3770
1	0.552	4960
1-1/4	0.889	8000

[a] Based on an allowable stress of 12,000 psi reduced by 25% using the root area in accordance with ASME *Standard* B31.1 and MSS *Standard* SP-58.

سازندگان و یا داده‌های این فصل، با اطمینان خاطر انتخاب کرد. در عین حال، برخی از بارها و نیروها خیلی شدید هستند (به خصوص در ساختمان‌های چندطبقه و وقتی قطر لوله زیاد است)، به‌ویژه در مواردی که در فشارهای زیاد از قطعات انبساطی (expansion joints) استفاده شده باشد. بنابراین، طرح تمام مهارها (anchors) و اجزاء نگهدارندهٔ لوله (pipe supporting elements) باید توسط یک مهندس صلاحیت دار تهیه و کنترل گردد، به‌ویژه در شرایط زیر:

- سیستم بخارهای آب با فشار کار بیشتر از 15 psia
- سیستم‌های آبی (hydronic sys) با فشار و درجه‌حرارت بیشتر از 160 psia یا 250°F
- لوله‌های عمودی (risers) در ساختمان‌هایی که تعداد طبقات آنها بیشتر از ۱۰ و یا ارتفاع آنها بیشتر از 100 ft باشد
- لوله‌های با قطر بیشتر از 12 in
- سیستم‌های دارای قطعات انبساطی، به خصوص اگر قطر لوله‌ها برابر یا بیشتر از 3 in است
- وقتی نیروهای وارده بر مهارها (anchors) بیشتر از 10000 lb باشد
- وقتی مقدار گشتاور وارد بر لوله یا سازه، بیشتر از 1000 ft.lb باشد

۳۸-۴ انبساط لوله‌ها و انعطاف‌پذیری
(pipe expansion and flexibility)

تغییر درجه‌حرارت موجب می‌گردد ابعاد تمام مواد و جنس‌ها تغییر کند. جدول (۶-۳۸) مقدار ضریب انبساط برای جنس‌های متداول در لوله‌کشی سیستم‌های HVAC را نشان می‌دهد. برای نگهداشتن وزن لوله و حفاظت انشعابات، لازم است از مهار (anchor) و محدودکننده‌های حرکت لوله (restraints) استفاده شود. نیروهای وارده بر مهارها و نیروهای خمشی لوله‌هایی که در دو انتها مهار شده‌اند (anchored) معمولاً بیشتر از حد قابل قبول است. بنابراین در عمل نباید هرگز یک لولهٔ فولادی مستقیم را در دو انتها مهار کرد. سیستم‌های لوله‌کشی باید برای انبساط و انقباض حرارتی آزاد باشند. با طراحی خم‌ها و حلقه‌های لوله (pipe bends and loops) و یا با استفاده از وسایلی چون قطعات انبساطی (expansion joints) می‌توان انعطاف‌پذیری مناسبی را به‌وجود آورد.

جدول ۳۸-۶ انبساط حرارتی لوله‌های فلزی

فشار بخار اشباع psig	درجه حرارت °F	انبساط حرارتی عمومی in/100 ft		
		فولاد کم‌منگنز	فولاد زنگ‌نزن نوع 304	مس
	-30	-0.19	-0.30	-0.32
	-20	-0.12	-0.20	-0.21
	-10	-0.06	-0.10	-0.11
	0	0	0	0
	10	0.08	0.11	0.11
	20	0.15	0.22	0.23
	32	0.24	0.36	0.37
-14.6	40	0.30	0.45	0.46
-14.6	50	0.38	0.56	0.57
-14.5	60	0.46	0.67	0.68
-14.4	70	0.53	0.78	0.79
-14.3	80	0.61	0.90	0.90
-14.2	90	0.68	1.00	1.02
-14.0	100	0.76	1.12	1.13
-13.7	120	0.91	1.35	1.37
-13.0	140	1.06	1.57	1.59
-11.8	160	1.22	1.79	1.80
-10.0	180	1.37	2.02	2.05
-7.2	200	1.52	2.24	2.30
-3.2	212	1.62	2.38	2.45
0	220	1.69	2.48	2.52
2.5	240	1.85	2.71	2.76
10.3	260	2.02	2.94	2.99
20.7	280	2.18	3.17	3.22
34.6	300	2.35	3.40	3.46
52.3	320	2.53	3.64	3.70
75.0	340	2.70	3.88	3.96
103.3	360	2.88	4.11	4.18
138.3	380	3.05	4.35	4.42
181.1	400	3.23	4.59	4.67
232.6	500	4.15	5.80	5.91
666.1	600	5.13	7.05	7.18
1528	700	6.16	8.29	8.47
3079	800	7.23	9.59	9.79
	900	8.34	10.91	11.16
	1000	9.42	12.27	12.54

mon in distribution systems and high-rise buildings. Therefore, in addition to design requirements for pressure, weight, and other loads, piping systems must accommodate thermal and other movements to prevent the following:

۳۸-۵ خم‌ها و حلقه‌های لوله

(pipe bends and loops)

۳۸-۵-۱ خم‌های لوله (L bends)

برای لوله‌های فولادی بدون درز (seamless)، لوله‌های دارای درزهای جوشکاری شده با مقاومت الکتریکی (ERW)، و لوله‌های با درزهای جوش لب به لب (butt weld) مطابق استاندارد A53 و برای لوله‌های مسی اکسترود شده طبق استاندارد B88 داریم:

$$L = 6.225\sqrt{\Delta D} \qquad (1)$$

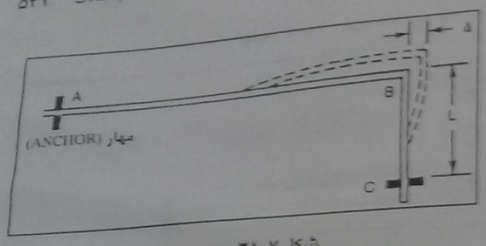
که:

L = طول ساقهٔ BC برای جذب انبساط حرارتی ساقهٔ AB در شکل ۳۸-۷، ft

Δ = مقدار انبساط یا انقباض حرارتی ساقهٔ AB، in

D = قطر خارجی واقعی لوله، in

برای خم‌های L که در سطح افقی قرار دارند، معمولاً لازم است یک



شکل ۳۸-۷ خم‌های L

تکیه‌گاه در نزدیکی نقطهٔ B درنظر گرفته شود. تکیه‌گاه‌های بین A و C باید کمترین مقاومت را در مقابل جابجایی لوله‌کشی ایجاد کنند (شکل ۳۸-۷ را ببینید). برای برآورده‌شدن این هدف، از میله‌های آویز (hanger rods) یا صفحات لغزشی (slid plates) استفاده می‌کنند. انحراف آویزها نباید بیشتر از ۴ درجه باشد.

برای آن گروه از خم‌های L که ساق‌های آن (legs) در دو صفحهٔ افق و قائم قرار دارند، هر تکیه‌گاهی که بر روی ساقهٔ افقی نصب می‌شود باید دارای آویزهای فنر (spring hanger) باشد.

۳۸-۵-۲ خم‌های Z (Z bends)

مطابق شکل (۳۸-۸)، خم‌های Z از نظر هماهنگی با جابجایی لوله بسیار مؤثر هستند. یک روش ساده و محافظه‌کارانه برای تعیین اندازهٔ خم‌های Z این‌است‌که طول ساقه Z را ۰٫۶۵ مقدار L در معادلهٔ (۱) درنظر بگیرید. در نتیجه:

$$L = 4\sqrt{\Delta D} \qquad (2)$$

که:

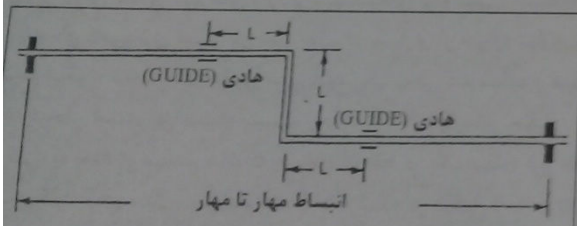
L = طول ساقه Z، ft

Δ = انبساط از مهار تا مهار (anchor - to - anchor)، in

D = قطر خارجی لوله، in

۳۸-۵-۳ خم‌های U یا حلقه‌های لوله (U bend and pipe loops)

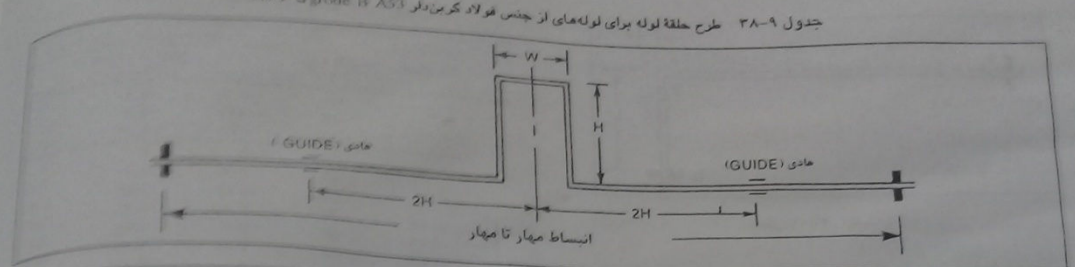
حلقه‌های لوله (pipe loops) یا خم‌های U عموماً در مسیرهای لوله‌کشی طولانی استفاده می‌شوند. یک روش ساده برای طراحی حلقه‌های لوله،



he distance from the guides, if used, to the offset should equal or ceed the length of the offset.
ffset piping must be supported with hangers, slide plates, and ring hangers similar to those for L bends.

شکل ۳۸-۸ خم Z در لوله‌ها

جدول ۹-۳۸ طرح حلقهٔ لوله برای لوله‌های از جنس فولاد کربن‌دار ASTM Grade B A53



انبساط مهار تا مهار، in

قطر لوله in	L	4		6		8		10		12	
	W	H	W	H	W	H	W	H	W	H	W	H
1	2	4	3	6	3.5	7	4	8	4.5	9	5	10
2	3	6	4	8	5	10	5.5	11	6	12	7	14
3	3.5	7	5	10	6	12	6.5	13	7.5	15	8	16
4	4	8	5.5	11	6.5	13	7.5	15	8.5	17	9	18
6	5	10	6.5	13	8	16	9	18	10	20	11	22
8	5.5	11	7.5	15	9	18	10.5	21	12	24	13	26
10	6	12	8.5	17	10	20	11.5	23	13	26	14	28
12	6.5	13	9	18	11	22	12.5	25	14	28	15.5	31
14	7	14	9.5	19	11.5	23	13	26	15	30	16	32
16	7.5	15	10	20	12.5	25	14	28	16	32	17.5	35
18	8	16	11	22	13	26	15	30	17	34	18.5	37
20	8.5	17	11.5	23	14	28	16	32	18	36	19.5	39
24	9	18	12.5	25	14.5	29	17.5	35	19.5	39	21	42

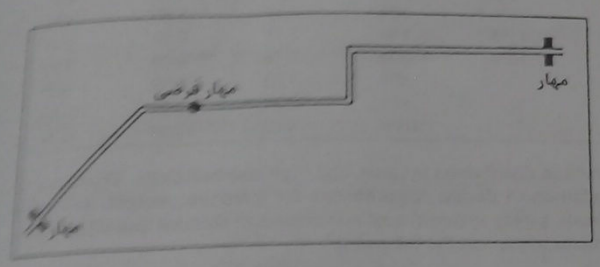
Above W and H dimensions are feet.
L is determined from Equation (4). W = L/5 H = 2W 2H + W = L

Approximate force to deflect loop = 200 lb/diam. in.
For example, 8 in. pipe creates 1600 lb of force.

این است که مقدار انبساط را از مهار تا مهار محاسبه کنید و با استفاده از معادلهٔ (۲)، طول لازم برای L را چنان تعیین کنید که بتواند جابجایی لوله را تحمل کند. سپس، ابعاد حلقهٔ لوله را می‌توان از رابطه W=L/5 و H=2W یافت.

توجه کنید که فاصلهٔ تکیه‌گاه‌های هادی (guide) از مرکز حلقه نباید کمتر از دو برابر ارتفاع حلقه باشد و آن قسمت از لوله‌کشی که بین تکیه‌گاه‌های هادی قرار دارند باید دارای تکیه‌گاه باشد.

جدول (۹-۳۸) ابعاد حلقهٔ لوله را برای لوله‌های به قطر 1 تا 24 in وقتی مقدار انبساط (انقباض) از مهار تا مهار برابر با 2 تا 12 in باشد نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۳۸ یک سیستم لوله‌کشی که در چند صفحهٔ مختصات انجام شده است

۳۸-۵-۴ تحلیل وضعیت لوله‌کشی موجود

بهترین روش تحلیل تنش‌های وارد بر سیستم‌های لوله‌کشی، استفاده از برنامه‌های کامپیوتری است. در عین حال، در بسیاری از موارد نیازی به انجام اینگونه تحلیل‌های دقیق نمی‌باشد. یک روش که ساده و هنوز رضایتبخش است، این است که سیستم را با استفاده از مهارهای حقیقی یا فرضی، به تعدادی سیستم ساده که هر جزء آن فقط در یک صفحه قرار دارد تقسیم کنید. برای مثال، سیستم نشان داده شده در شکل (۱۰-۳۸) را می‌توان به یک خم L و یک خم Z تفکیک کرد.

۳۸-۶ سیستم‌های لوله‌کشی پلاستیکی (plastic piping systems)

لوله‌های غیرفلزی به‌طور گسترده در سیستم‌های HVAC و لوله‌کشی تأسیسات بهداشتی استفاده می‌شوند. لوله‌های پلاستیکی دارای وزن سبک و معمولاً ارزان و مقاوم در برابر خوردگی هستند. ضریب C لوله‌های پلاستیکی کم است (یعنی سطوح آنها خیلی صاف می‌باشد) و بنابراین توان لازم برای پمپاژ و قطر لوله‌های مورد نیاز کاهش خواهد یافت. معایب لوله‌های پلاستیکی عبارتند از: افت سریع استحکام لوله در درجه‌حرارت‌های بیشتر از دمای محیط، و زیادبودن ضریب انبساط حطی آنها. مدول ارتجاعی پلاستیک کم است و بنابراین فاصلهٔ بین تکیه‌گاه‌های آن باید کم باشد.

مواد مورد استفاده در لوله‌های پلاستیکی دو نوع هستند: ترموپلاستیک (thermoplastic) و ترموستینگ (thermosetting). مواد ترموپلاستیک را

جدول ۱۱-۳۸ خواص مواد مورد استفاده در لوله‌های پلاستیکی

Table 10 Properties of Plastic Pipe Materials[a]

Material Designation	Type and Grade	Cell No.	Tensile Strength, psi at 73°F	Hydrostatic[b] Design Stress, psi at 73°F Mfr.	Hydrostatic[b] Design Stress, psi at 73°F ASME B31	Upper Temperature Limit, °F Mfr.	Upper Temperature Limit, °F ASME B31	HDS[b] Upper Limit, psi	Specific Gravity[c]	Impact Strength, ft-lb/in at 73°F	Modulus of Elasticity, psi at 73°F	Coefficient of Expansion, in 10^{-6} in-°F	Thermal Conductivity, Btu-in $h\text{-}ft^2\text{-}°F$	Relative Pipe Cost[d]
Thermoplastics														
PVC 1120	T I,G1	12454-B	7,500	2,000	2,000	140	150	440	1.40	0.8	420,000	30.0	1.1	1.0
PVC 1220	T I,G2	12454-C			2,000		150				410,000	35.0		
PVC 2120	T II,G1	14333-D			2,000		150					30.0		
CPVC 4120	T IV,G1	23447-B	8,000	2,000	2,000	210	210	320	1.55	1.5	423,000	35.0	0.95	2.9
PB 2110	T II,G1		4,800	1,000	1,000	180	180	500	0.93		38,000	72.0	1.5	2.9
PE 2306	Gr. P23				630		140				90,000	80.0		
PE 3306	Gr. P34				630		160				130,000	70.0		
PE 3406	Gr. P33				630		180				150,000	60.0		
HDPE 3408	Gr. P34	355434-C	5,000	1,600	800	140	180	800	0.96	12	110,000	120.0	2.7	1.1
PP			5,000	705		212	210		0.91	1.3	120,000	60.0	1.3	2.9
ABS	Dumpfix	6-3-3	5,500			176			1.06	8.5	240,000	56.0	1.7	3.4
ABS 1210	T I,G2	5-2-2			1,000		180	640			250,000	55.0		
ABS 1316	T I,G3	3-5-5			1,600		180	1,000			340,000	40.0		
ABS 2112	T II,G1	4-4-5			1,250		180	800				40.0		
PVDF			7,000	1,275		280	275	306	1.78	3.8	125,000	79.0	0.8	28.0
Thermosetting														
Epoxy-Glass	RTRP-11AF		44,000	8,000		210		7,000			1,000,000	9 to 13	2.9	
Polyester-Glass	RTRP-12EF		44,000	9,000		200		5,000			1,000,000	9 to 11	1.3	
For Comparison														
Steel	A 53 B	ERW	60,000		12,800		800	9,200	7.80	30.0	27,500,000	6.31	344	1.3
Copper	Type L	Drawn	36,000		9,000		400	8,200	8.90		17,000,000	9.5		3.5

[a] The properties listed are for the specific materials listed as each plastic has other formulations. Consult the manufacturer of the system chosen. These values are for comparative purposes.
[b] The hydrostatic design stress (HDS) is equivalent to the allowable design stress
[c] Relative to water at 62.4 lb/ft³.
[d] Based on the cost of pipe only, without factoring in fittings, joints, hangers, and labor.

ذوب و به‌صورت ریخته‌گری یا اکسترودکردن (extruding) شکل می‌دهند و نیاز به عناصر تقویت‌کننده (reinforcing filaments) ندارند. مواد ترموست (thermosets) را نمی‌توان شکل داد و معمولاً باید آنها را همراه با عناصر تقویت کننده‌ای مانند پشم شیشه استفاده نمود.

جدول (۱۱-۳۸) خواص پلاستیک‌های مختلف و جدول (۱۲-۳۸) برخی از کاربری‌های لوله‌های پلاستیکی در صنعت HVAC را نشان می‌دهد. شرح مختصر کاربری‌های هر کدام از موادی که در ساخت لوله‌های ترموپلاستیک استفاده می‌شوند در زیر ارائه شده است.

جدول ۱۲-۳۸ پیشنهادات سازندگان برای جنس‌های پلاستیکی.

	PVC	CPVC	PB	HDPE	PP	ABS	PVDF	RTRP
Cold water service	R	R	R	R	R	R	R	R
Hot (140°F) water	N	R	R	R	R	R	R	R
Potable water service	R	R	R	R	R	R	R	R
Drain, waste, and vent	R	R	N	—	R	R	—	—
Demineralized water	R	R	—	—	R	R	R	—
Deionized water	R	R	—	—	R	R	R	R
Salt water	R	R	R	R	R	R	—	R
Heating (200°F) hot water	N	N	N	N	N	N	—	R
Natural gas	N	N	N	R	N	N	—	—
Compressed air	N	N	—	R	N	R	—	—
Sunlight and weather resistance	N	N	N	R	—	R	R	R
Underground service	R	R	R	R	R	R	—	R
Food handling	R	R	—	—	R	R	R	R

R = Recommended N = Not recommended — = Insufficient information

[a] Before selecting a material, check the availability of a suitable range of sizes and fittings and of a satisfactory joining method. Also have the manufacturer verify the best material for the purpose intended.

[b] Local building codes should be consulted for compliance of the materials listed.

PVC- چون پلی‌وینیل کلراید در بین مواد ارزان، بهترین خواص را دارد در ساخت پلاستیک‌ها به‌طور گسترده از این ماده استفاده می‌شود. اتصال لوله‌های PVC با چسب‌های مخصوص، رزوه، یا فلنج صورت می‌گیرد. برای لوله‌های با قطر زیاد، از واشرهایی که با فشار درمحل اتصال قرار داده می‌شوند نیز استفاده می‌گردد.

CPVC- پلی‌وینیل کلراید کلرینه شده (chlorinated polyviny chloirde) همان خواص PVC را دارد ولی درجه‌حرارت‌های بیشتری را نسبت به PVC می‌تواند تحمل کند. اتصال این لوله‌ها نیز همانند لوله‌های PVC است.

PB- برای درجه‌حرارت‌های تا 210°F می‌توان از پلی‌بوتیلن که یک مادهٔ انعطاف‌پذیر و سبک است استفاده کرد. این لوله‌ها برای لوله‌کشی آب سرد و گرم بهداشتی به‌کار برده می‌شوند. این لوله‌ها به‌صورت کوپل وجود دارند و به‌صورت ذوب حرارتی (heat fusion) یا روش‌های مکانیکی به یکدیگر متصل می‌گردند. لوله‌های PB را می‌توان به شعاعی که ده برابر قطر لوله است، خم کرد.

PE- پلی‌اتیلن با چگالی کم (LDPE) یک لولهٔ سبک انعطاف‌پذیر است که در درجه‌حرارت‌های پایین، خواص خوبی را داراست. این لوله‌ها در صنایع غذایی و نوشابه‌سازی و برای لوله‌کشی ابزار دقیق (instrument) استفاده می‌شوند. این لوله‌ها به‌روش‌های مکانیکی با استفاده از اتصالات فشاری (compression fittings) یا بست و اتصال فشاری به یکدیگر متصل می‌گردند.

پلی‌اتیلن با چگالی زیاد (HDPE) یک مادهٔ و مقاوم در برابر شرایط جوی است و در خطوط بزرگ صنایع گاز استفاده می‌شود. این لوله‌ها در اندازه‌های بزرگ به‌صورت ذوب حرارتی و

اندازه‌های کوچک با استفاده از اتصالات فشاری به یکدیگر متصل می‌گردند.

- *P.P* به‌دلیل بی‌اثربودن بسیاری از مواد شیمیایی بر پلی‌پروپیلن، از این نوع پلاستیک (که وزن سبک دارد) برای خطوط پساب‌های شیمیایی و کاربری‌های تحت فشار استفاده می‌گردد. اتصال این لوله‌ها به طریق ذوب حرارتی (heat fusion) انجام می‌شود.

- *ABS* (Acrylonitrile Butadiene Styrene). یک مادهٔ با استحکام زیاد، ضربه‌پذیر و مقاوم در برابر شرایط جوّی است. برای مصرف در سیستم‌های هوای فشرده می‌توان از یک نوع فرمولاسیون خاص استفاده کرد. ABS در صنایع غذایی و نوشابه‌سازی‌ها نیز به‌کار می‌روند. این لوله‌ها با استفاده از چسب‌های مخصوص، زرد و یا فلنج به یکدیگر متصل می‌شوند.

- *CPVDF* پلی‌وینیل فلوراید به‌طور گسترده در سیستم‌های آب خیلی خالص و صنایع داروسازی استفاده می‌شود. این ماده ۲۰ درصد گرانتر از PVC است. اتصال این لوله‌ها به یکدیگر یا استفاده از اتصالات مخصوص و ذوب حرارتی صورت می‌گیرد. برای لوله‌های با قطر کوچک، اتصالات مکانیکی را نیز می‌توان به‌کار برد.

فصل ۳۹

شیرها

(VALVES)

شیرها وسایلی هستند که در سیستم لوله‌کشی، جریان سیال را به‌صورت دستی یا خودکار کنترل می‌کنند. شیرها برای تحصیل محدودهٔ مشخصی از دبی، سرعت، فشار، مورد نظر و انتقال مکانیکی ساخته می‌شوند. شیرها برای برخی از وظایف زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:

- قطع و وصل جریان
- تنظیم، کنترل یا کاهش فشار جریان
- جلوگیری از برگشت جریان (preventing backflow)
- تنظیم یا تخلیهٔ فشار (relieving or regulating pressure)

قبل از انتخاب یا مشخص کردن نوع شیر، باید شرایط کاری زیر مشخص باشند:

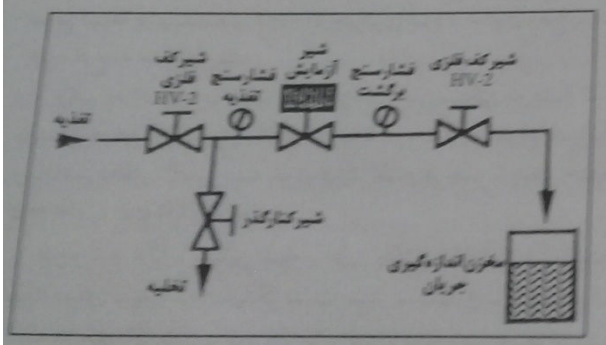
۱. نوع مایع، بخار یا گاز
   - آیا سیال مورد نظر یک سیال حقیقی (true fluid) است یا دارای ذرات جامد (solid) نیز می‌باشد؟
   - آیا سیال خورنده یا سایننده است؟
   - آیا مایع عبوری از درون شیر، به‌صورت مایع باقی خواهد ماند یا اینکه تبخیر می‌شود؟
۲. مقدار و درجه‌حرارت
   - آیا مقدار فشار و درجه‌حرارت در سیستم تغییر خواهد کرد؟
   - آیا انتخاب شیر بر مبنای بدترین شرایط کار انتخاب شده است؟
۳. ملاحظات جریان
   - آیا مقدار افت فشار اهمیت حیاتی دارد؟
   - آیا شیر برای قطع سادهٔ جریان استفاده می‌شود و یا برای کاهش فشار (throttling) جریان؟
   - آیا شیر مورد نظر باید از برگشت جریان نیز جلوگیری کند؟
۴. توانایی بهره‌برداری
   - آیا شیر گاهی اوقات کار می‌کند؟
   - آیا شیر بر مبنای حداکثر سایش طراحی شده است؟
   - آیا شیر در حالت عادی باز است (normally open) و گاهی اوقات بسته می‌شود؟

۳۹-۱-۱ ضریب جریان و افت فشار
(flow coefficient and pressure drop)

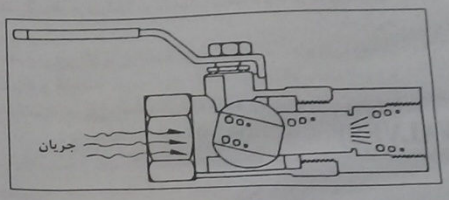
عبور جریان از درون هر وسیله‌ای، همراه با افت فشار خواهد بود. در اکثر کاربری‌ها، وقتی جریان به‌صورت درهم (turbulent) باشد مقدار افت فشار متناسب با مجذور گذر جریان تغییر می‌کند. در مورد شیرهای یکطرفه (check valve) این رابطه فقط زمانی صادق است که شیر در وضعیت کاملاً باز (fully open position) قرار داشته باشد.

معمولاً برای سهولت انتخاب شیرها (به‌خصوص شیرهای کنترل)، سازندگان ظرفیت شیر را برحسب ضریب جریان C_v بیان می‌کنند. طبق تعریف، C_v عبارت‌است از مقدار گذر جریان آب برحسب gpm (در 60°F) به‌گونه‌ای که وقتی شیر کاملاً باز است، افت فشار درون شیر برابر با 1 psi باشد. ضریب جریان فقط در مورد آب قابل استفاده است. وقتی یک شیر برای کنترل سیالاتی غیر از آب به‌کار می‌روند، مطمئن شوید که متفاوت بودن لزجت‌ها (viscosity) لحاظ گردیده است.

در شکل (۱-۳۹) یک نمونه از آرایش تجهیزات مورد نیاز برای اندازه‌گیری مقدار C_v نشان داده شده است. شیر کف‌فلزی (globe valve) HV-1 این امکان را می‌دهد که فشار ورودی را بتوان تنظیم کرد (مثلاً در 10 psi). سپس شیر HV-2 را چنان تنظیم می‌کنند (مثلاً در 9 psi) که افت فشار درون شیر تحت آزمایش حدود 1 psi شود. برای به‌حداقل رساندن مقدار نوسان فشار (pressure fluctuation) می‌توان از یک مخزن ذخیرهٔ ثقلی (gravity storage tank) استفاده کرد. با استفاده از شیر کنارگذر (bypass valve) قادر خواهید بود مقدار فشار تخلیه را دقیقاً تنظیم کنید.



شکل ۱-۳۹ آرایش تجهیزات آزمایش ضریب جریان



شکل ۲-۳۹ پیشروی کاویتاسیون در شیرها

۳۹-۱-۲ تولید حباب یا کاویتاسیون (cavitation)

کاویتاسیون هنگامی رخ می‌دهد که فشار سیال در حال جریان، به کمتر از فشار بخار (vapor pressure) آن سیال برسد (شکل ۲-۳۹). فرایند کاویتاسیون دو مرحله دارد. در مرحلهٔ اوّل، ابتدا فشار تا نقطهٔ بحرانی کاهش می‌یابد و در نتیجه، مایع تبدیل به بخار می‌شود. حباب‌های بخار همراه با جریان حرکت می‌کنند تا به ناحیه‌ای که فشار بیشتر است می‌رسند. در این ناحیه، حباب‌های بخار به‌طور ناگهانی می‌ترکند. کاهش فشار در هنگام عبور سیال از درون شیر و افزایش سرعت آن رخ می‌دهد. پس از عبور جریان از درون شیر، مقدار سرعت کاهش و فشار افزایش می‌یابد. در بسیاری از موارد، بروز کاویتاسیون به‌صورت تولید صدا آشکار می‌شود. اگر حباب‌های بخار در هنگام ترکیدن در تماس با یک سطح جامد باشند، هجوم مایع به درون حفره‌های حاصل از ترکیدن حباب‌ها موجب می‌شود فشارهای زیاد موضعی و سایش سطح جامد ایجاد گردد. این موضوع ممکن‌است موجب خرابی زودرس شیر و لوله‌های مجاور آن شود. صدا و ارتعاش تولیدی به‌دلیل کاویتاسیون، شبیه حرکت دانه‌های شن در درون سیستم است.

۳۹-۱-۳ ضربهٔ قوچ (water hammer)

ضربهٔ قوچ عبارت‌است از گروهی از ضربان‌های فشاری (pressure pulsation) که طی آن، مقدار فشار به کمتر و بیشتر از فشار معمول آب درون سیستم می‌رسد. دامنه (amplitude) و فواصل زمانی بین ضربان‌ها، بستگی به سرعت آب و اندازه، طول و جنس لوله دارد.

شوک حاصل از این ضربان‌ها زمانی رخ می‌دهد که مایع در حال جریان در یک فاصلهٔ زمانی کوتاه متوقف شود. به‌طورکلی، بهتر است از بسته‌شدن سریع شیرها در سیستم‌های HVAC جلوگیری شود تا احتمال وقوع پدیدهٔ ضربهٔ قوچ به حداقل برسد.

وقتی جریان متوقف شود، مقدار افزایش فشار بستگی به فشار کار سیستم نخواهد داشت. برای مثال، اگر آب با سرعت 5 fps در جریان باشد و یک شیر به‌طور ناگهانی بسته شود، افزایش فشار در چنین شرایطی حدود 100 psia یا 1000 psia خواهد بود.

ضربهٔ قوچ غالباً با صدایی شبیه برخورد چکش به لوله همراه است. شدت صدای تولید شده، نمایانگر شدت فشار نیست. آزمایشات نشان داده‌اند که حتّی اگر ۱۵٪ یا کمتر، از فشار شوک تولید شده توسط جذب کننده‌ها (absorbers) یا بازدارنده‌ها (arresters) حذف شود، دیگر نیازی به استفاده از وسایل تخلیهٔ فشار نمی‌باشد.

۳۹-۱-۴ صدا (noise)

فصل ۳۳ از کتاب 1993 ASHRAE Handbook- Fundamentals، محدودیت‌های موجود برای اینکه در شیرها صدا، سایش و ضربهٔ قوچ تولید نشود را بیان کرده است. یک پیشنهاد این‌است‌که برای لوله‌های با قطر برابر یا کمتر از 2 in، سرعت را تا 4 fps و برای لوله‌های با قطر بیشتر از 2 in، مقدار افت فشار در هر 100 ft طول لوله را 4 ft ستون آب درنظر بگیرید. تولید صدا به‌دلیل زیادبودن سرعت سیال در سیستم‌های لوله‌کشی، می‌تواند ناشی از یک یا چهار علّت باشد:

مغشوش‌بودن جریان (turbulence)؛ کاویتاسیون؛ خروج هوای محبوس شده (entrained air)؛ و ضربهٔ قوچ.

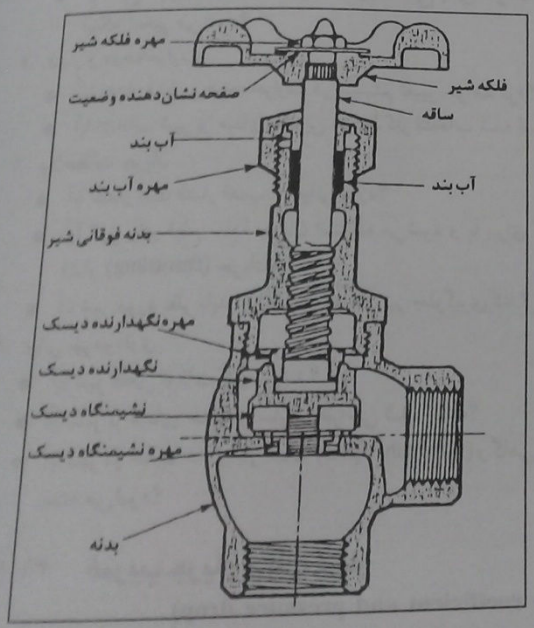
۳۹-۲ شیرهای دستی (manual valves)

۳۹-۲-۱ انتخاب

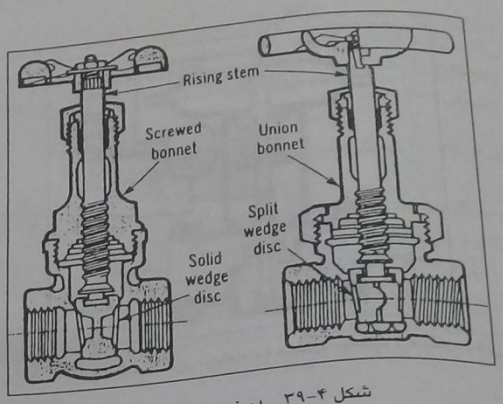
در یک کاربری خاص، استفاده از هر نوع شیری، مزایا و معایبی را به‌همراه دارد. در برخی موارد در مدارک و مشخصات فنی طرح، اطلاعات ناصحیحی دیده می‌شود. در این موارد غالباً تصمیم‌گیری براساس مسائل اقتصادی و موجودبودن کالا انجام شده است، نه براساس آنچه که واقعاً نیاز بوده است.

۳۹-۲-۲ شیرهای کف فلزی (globe valves)

در شیرهای کف فلزی با اعمال یا حذف فشار از روی دیسکی که بالای حلقه یا نشیمنگاه (seat) موجود در مجرای ورود سیال قرار دارد، مقدار جریان کنترل می‌شود (شکل ۳-۳۹). این شیرها غالباً برای لوله‌های کوچک استفاده می‌شوند ولی تا قطر 12 in نیز موجود هستند. شیرهای کف فلزی غالباً برای کنترل مقدار جریان استفاده می‌شوند.



شکل ۳-۳۹ شیر کف فلزی



شکل ۴-۳۹ دو نوع شیر کشویی

۳۹-۲-۳ شیرهای کشویی (gate valves)

در یک شیر کشویی، جریان توسط یک دیسک مدوّر که در داخل نشیمنگاه حرکت می‌کند کنترل می‌شود (شکل ۴-۳۹). قطر سوراخ درون شیر در هنگامی که کاملاً باز است، به بزرگی مقطع کامل لوله است.

شیرهای کشویی برای اینکه کاملاً باز یا کاملاً بسته باشند طراحی شده‌اند و نباید از آنها برای تنظیم یا کنترل جریان استفاده کرد. شیرهایی که در مکان‌های غیرقابل دسترسی نصب می‌شوند را می‌توان توسط زنجیر یا اهرم، باز و بسته کرد.

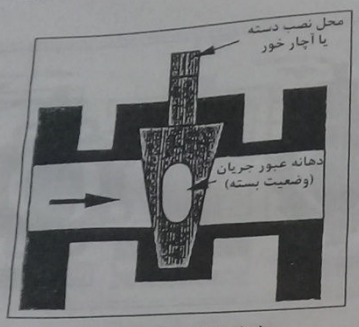
۳۹-۲-۴ شیرهای سماوری (plug valve)

این شیرها برای کنترل جریان توسط دست استفاده می‌شوند (شکل ۵-۳۹). شیرهای سماوری با یک چرخش ۹۰ درجه‌ای، از حالت کاملاً باز به حالت کاملاً بسته (و یا برعکس) تبدیل می‌گردند. ظرفیت این شیرها بستگی به ظرفیت مساحت سطح روزنهٔ شیر (orifice) به مساحت سطح مقطع لوله‌ای که شیر بر روی آن نصب شده است دارد.

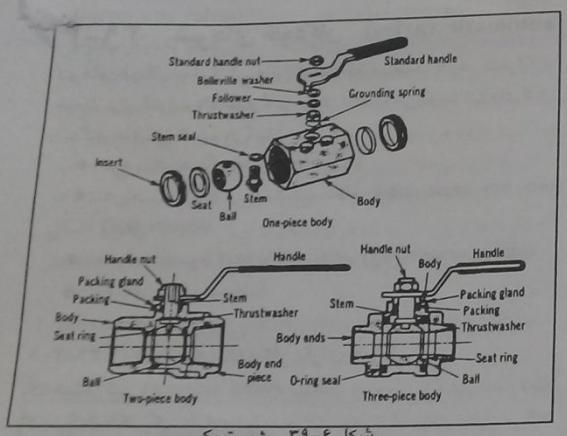
معمولاً این شیرها به‌عنوان وسیلهٔ کنترل دوحالته (قطع / وصل) استفاده می‌شوند زیرا (۱) نسبتاً ارزان هستند، (۲) وقتی تنظیم شوند در همان وضعیت باقی می‌مانند، و (۳) کارکنان می‌توانند وضعیت باز یا بسته‌بودن آن را به‌وضوح مشاهده کنند. اگر مساحت سطح روزنهٔ شیر (orifice) برابر با مساحت سطح مقطع لوله باشد، از بازدهٔ شیر به‌عنوان یک وسیلهٔ کنترل‌کننده جریان، کاسته خواهد شد.

۳۹-۲-۵ شیرهای توپی (ball valves)

یک شیر توپی تشکیل شده است از یک کرهٔ دقیق که بین دو نشیمنگاه دایره‌ای (circular seats) قرار گرفته است (شکل ۶-۳۹). چرخش دسته شیر به اندازهٔ ۹۰ درجه، باعث می‌گردد شیر از حالت کاملاً باز به حالت کاملاً بسته (و یا برعکس) تبدیل شود. قطر سوراخ توپی شیرهایی که برای قطع و وصل جریان استفاده می‌شوند می‌تواند هم‌اندازهٔ قطر لوله باشد ولی برای شیرهایی که با هدف تنظیم و کنترل جریان به‌کار می‌روند، قطر سوراخ توپی باید کمتر از قطر لوله باشد.



شکل ۵-۳۹ شیر سماوری

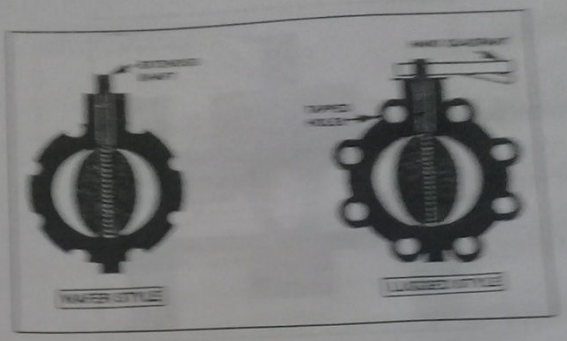


شکل ۶-۳۹ شیر توپکی

۳۹-۲-۶ شیرهای پروانه‌ای (butterfly valves)

این شیرها عموماً دارای یک بدنهٔ استوانه‌ای و یک دیسک چرخان (rotatable) هستند (شکل ۷-۳۹). محور چرخش دیسک، همان محور ساقهٔ شیر است که بر مسیر جریان عمود می‌باشد. فقط با یک چرخش ۹۰ درجه‌ای می‌توان شیر را از حالت کاملاً باز به حالت کاملاً بسته درآورد. شیرهای پروانه‌ای را می‌توان به‌صورت دستی و یا با استفاده از یک محرّک (actuator) به‌صورت خودکار استفاده کرد.

تمام شیرهای پروانه‌ای دارای طرح ساده و فشرده (compact)، افت فشار ناچیز، و عملکرد سریع می‌باشند. سریع‌بودن عملکرد آنها باعث می‌گردد این شیرها برای کنترل خودکار (در مواردی که در ازاء جریان زیاد باید افت فشار کم باشد) مناسب باشند. در کاربری‌هایی که از کنترل دووضعیتی (ON/OFF) استفاده می‌گردد، تعیین اندازهٔ شیر پروانه‌ای براساس سرعت‌هایی انجام می‌شود که در سیستم لوله‌کشی باید رعایت گردد (فصل ۴ را ببینید). در مواردی که این شیرها برای کنترل مقدار جریان استفاده گردد، برای تعیین اندازهٔ شیر از ضریب شیر که در بخش «شیرهای کنترل خودکار» توضیح داده شد استفاده نمایید.



شکل ۸-۳۹ شیر پروانه‌ای

۳-۳۹ شیرهای خودکار (automatic vavles)

شیرهای خودکار معمولاً شیرهایی هستند که عملکرد آنها یک کنترل‌کننده خودکار برای کنترل جریان سیال استفاده می‌کنند. شیرهای کنترل را به گروه‌های زیر تقسیم می‌کنند:

- نوع عملگر (actuator type)
- نوع قسمت (یک و دو شیب‌گذاری) (two- way single and double- seat)
- سه‌راهه (مخلوط‌کننده یا شیب‌گذار) (mixing or diverting)
- ویژگی‌های (انواع و سایزها)

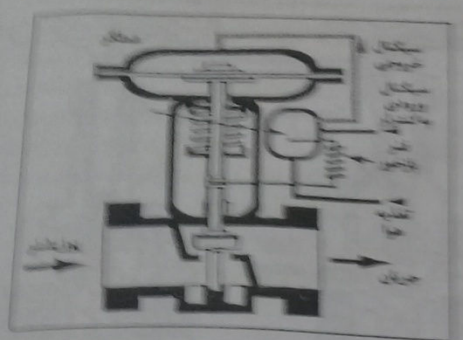
۱-۳-۳۹ شیرهای خودکار دارای عملگر

یک عملگر شیر (valve actuator)، سیگنال خروجی از کنترل‌کننده (مثلاً یک سیگنال الکتریکی یا بادی) را به حرکت خطی یا دورانی تبدیل می‌کند. عملگرها دارای اندازه‌ها و نیروی خروجی‌ها و مورد‌های کنترلی (control modes) متفاوت و گسترده‌ای هستند.

انواع اولیه عملگرهای مورد استفاده برای شیرهای خودکار عبارتند از: عملگرهای سیم‌لایی (solenoid)، بادی (pneumatic)، موتوری الکتریکی، الکترونیکی، هیدرولیکی و ترموستاتیکی.

اندازه دیافراگم عملگرهای بادی با دیافراگمی بین 3 تا 200 in² است. این عملگرها دارای یک دیافراگم انعطاف‌پذیر هستند که بین دو پوسته بالایی و پایینی جوشی است. در عملگرهای با عملکرد مستقیم (direct acting actuators) فشار بین پوسته بالایی و دیافراگم کاملاً آب‌بندی می‌باشد (شکل ۸-۳۹). با افزایش فشار هوا بر بالای دیافراگم، ساقهٔ شیر توسط فنری که تحت فشاری دارد از سوی دیافراگم فرار دارد به سمت پایین حرکت می‌کند تا شیر بسته شود. مشخصات فنر با توجه به تغییر فشار هوا برای باز و بسته کردن شیر انتخاب می‌گردد. برای مثال، هر یک فنر ثابتی برای باز و بسته شدن شیر باید تغییر فشار هوای کنترل 3 psi باشد. در برخی از شیرها، مشخصهٔ فنر قابل تنظیم است.

در شیرهای با عملکرد معکوس (reverse acting valve) نیز می‌توان از عملگرهای با عملکرد مستقیم استفاده کرد. برای تأمین نیروی اضافی

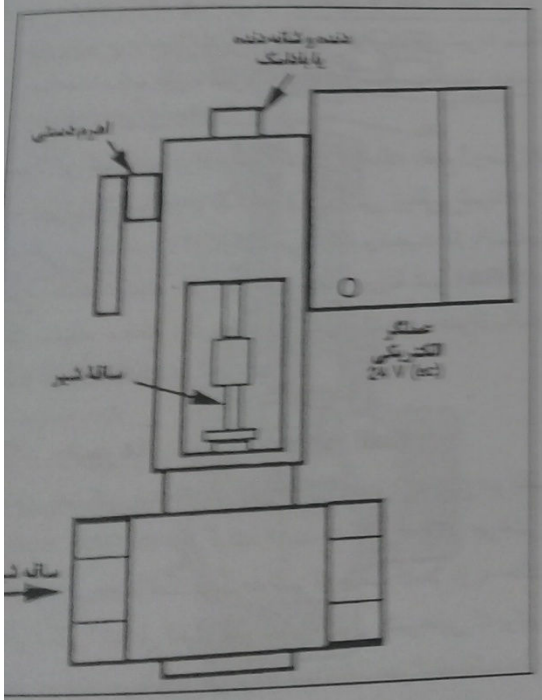


شکل ۷-۳۹ یک شیر کنترل دوراهه با عملکرد مستقیم و عملکرد بادی و positioner

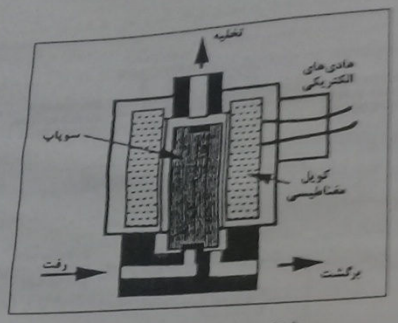
برای باز یا بسته کردن شیر کنترل خودکار، می‌توان یک رلهٔ مکانیزمهای بادی (pneumatic positioner relay) به عملگر اضافه کرد (شکل ۸-۳۹).

۲-۳-۳۹ عملگرهای الکتریکی (electric actuators)

این عملگرها معمولاً متشکل از یک موتور الکتریکی یا دو سیم‌پیچ هستند و نحوهٔ خروجی از موتور از طریق یک بادامک یا شافت دنده به ساقهٔ شیر منتقل شده است (شکل ۹-۳۹). برای به حرکت درآوردن شیر، معمولاً [illegible] حدود 1kV باید دوران کند. در بسیاری از مواردی برای تبدیل حرکت دورانی موتور به حرکت خطی شیر، به اهرم‌بندی (linkage) نیاز می‌باشد. عملگرها با ستارهای کنترلی با ولتاژ پایین (24 V ac) کار می‌کنند. در کامل عملگر در مدت زمان ۳۰ ثانیه تا ۲ دقیقه انجام می‌شود و دندان



شکل ۹-۳۹ شیر کنترل دوراهه با عملگر الکتریکی

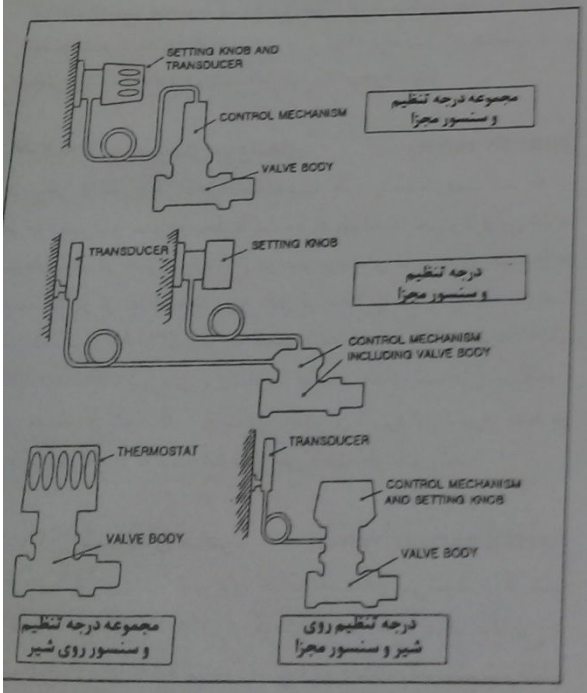


شکل ۱۰-۳۹ شیر مغناطیسی

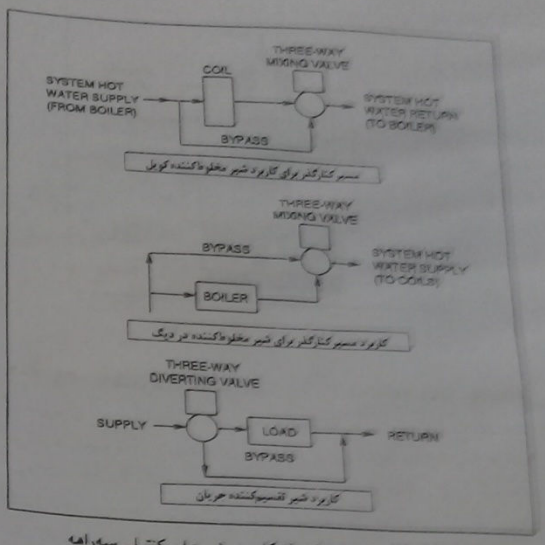
۶-۳-۳۹ شیرهای سه‌راهه (three- way valves)

در شیرهای سه‌راههٔ مخلوط‌کننده (mixing)، دو جریان با یکدیگر مخلوط می‌شوند. معمولاً در سیستم‌های HVAC از این شیرها برای اختلاط آب سردکننده یا آب گرم‌کننده استفاده می‌گردد. هدف از کاربرد این شیرها، کنترل‌کردن درجه‌حرارت سیال خروجی از شیر سه‌راههٔ مخلوط‌کننده است. یک کاربرد این شیرها، کنترل درجه‌حرارت هوا در بعد از کویل‌های آب سردکننده (chilled water) می‌باشد. برای این منظور، آب سردکنندهٔ در حال تغذیه به کویل، با آب گرمتر برگشتی از کویل مخلوط می‌گردد (شکل ۱۲-۳۹). همین کار را می‌توان در مورد آب گرم‌کننده (hot water) نیز انجام داد.

عملکرد شیرهای سه‌راههٔ مخلوط‌کننده و تقسیم‌کننده (diverting) با یکدیگر تفاوت دارد. در شیرهای سه‌راههٔ مخلوط‌کننده، دو جریان با



شکل ۱۱-۳۹ شیرهای ترموستاتیکی



شکل ۱۲-۳۹ نمونه‌هایی از کاربرد شیرهای کنترلی سه‌راهه

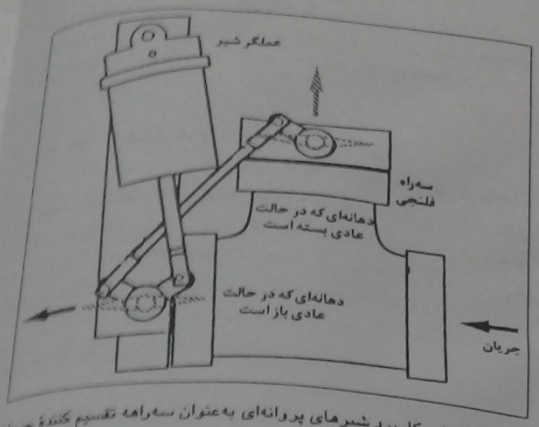
یکدیگر مخلوط می‌شوند و یک جریان مشترک را به‌وجود می‌آورند. در حالی که در شیرهای سه‌راههٔ تقسیم‌کننده یا کنارگذر جریان (bypass valve) برای کنترل‌کردن درجه‌حرارت، یک جریان سیال به دو قسمت تقسیم می‌گردد. در برخی از کاربری‌ها (مثلاً کنترل برج خنک‌کن) باید در عوض شیر مخلوط‌کننده، از شیر کنارگذر یا تقسیم‌کننده استفاده شود. با استفاده از شیر مخلوط‌کننده نیز می‌توان عملکردی مشابه شیرهای تقسیم‌کننده را به‌دست آورد، مشروط بر اینکه لوله‌کشی آن متناسب با شیر مخلوط‌کننده انجام شده باشد (به فصل ۲۸ رجوع کنید).

۳۹-۳-۷ شیرهای پروانه‌ای (butterfly ralves)

در برخی از کاربری‌ها، به‌دلیل محدودیت جا و یا محدودیت اندازه‌های موجود شیرهای سه‌راههٔ مخلوط‌کننده و تقسیم‌کننده، نمی‌توان از این شیرها استفاده کرد. در چنین مواردی از دو شیر پروانه‌ای که بر روی یک سه‌راهه نصب شده و توسط اهرم‌بندی به یکدیگر متصل هستند، استفاده خواهد شد (شکل ۱۳-۳۹). توجه کنید که مشخصه‌های جریان (flow characteristics) شیرهای پروانه‌ای با مشخصه‌های شیرهای استاندارد دارای دیسک و نشیمنگاه تفاوت دارد، بنابراین کاربرد این شیرها فقط در مواردی میسّر است که مشخصه‌های جریان آنها جوابگو باشد.

۳۹-۳-۸ شیرهای خاص (special purpose valve)

در برخی از کاربری‌ها از شیرهای خاص استفاده می‌شود، مثلاً شیر چهارراهه (four- way valve) برای گردش آب در حلقهٔ دیگ. یک نوع از شیرهای چهارراهه نیز به‌عنوان شیر تبدیل وضعیت در سیستم سرمایش (changeover refrigeration valve) به‌کار برده می‌شود. با استفاده از این



شکل ۱۳-۳۹ کاربرد شیرهای پروانه‌ای به‌عنوان سه‌راهه تقسیم‌کنندهٔ جریان

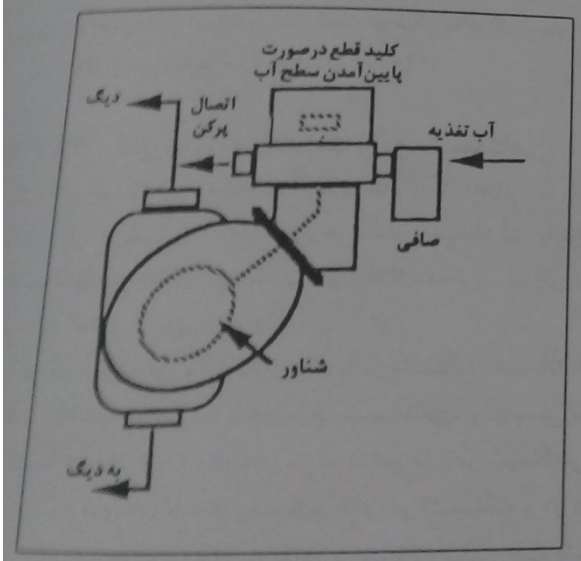
نوع شیر در سیستم‌های پمپ حرارتی (heat pump)، نقش تبخیرکننده (evaporator) یا کندانسور (condenser) تعویض می‌گردد.

شیرهای شناور (float valves) برای تغذیهٔ آب به یک مخزن یا یک منبع و یا در موارد خاص، به‌عنوان شیر تغذیه (و ثابت نگهدارندهٔ سطح آب درون) دیگ به‌کار برده می‌شوند (شکل ۱۴-۳۹).

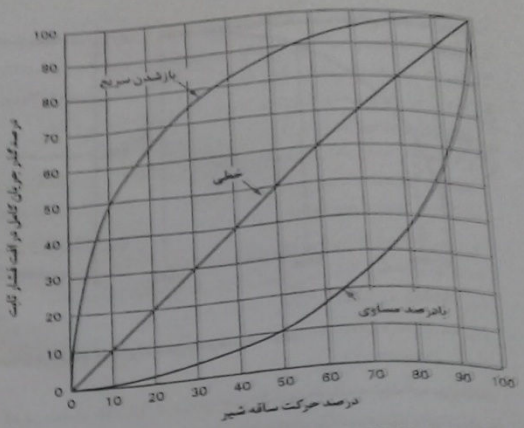
۳۹-۳-۹ مشخصه‌های جریان در شیرهای کنترل (control valve flow characteristics)

به‌طورکلی، شیرها برای کنترل‌کردن مقدار جریان سیال به‌کار برده می‌شوند. با توجه به شکل هندسی عضوی که مسیر حرکت سیال از درون شیر را می‌بندد (plug)، شرایط متفاوتی ممکن‌است پدید آید (شکل ۱۶-۳۹).

۱- بازشدن سریع *(quick opening)*: در اینگونه شیرها، وقتی شیر از وضعیت بسته شروع به بازشدن و ساقهٔ شیر اندکی حرکت کند، مقدار قابل



شکل ۱۴-۳۹ شیر شناور و کاربرد آن در دیگ‌های بخار



شکل ۱۵-۳۹ مشخصه‌های جریان در شیرهای کنترل

توجهی جریان از درون شیر خواهد گذشت. همزمان با حرکت ساقهٔ شیر به وضعیت باز، نرخ افزایش جریان نسبت به نرخ حرکت ساقهٔ شیر، به‌صورت غیرخطی (nonlinear) کاهش می‌یابد. این مشخصه‌ها برای کاربری‌های دوضعیتی (two- position) یا قطع- وصل (ON-OFF) کاربرد دارند.

۲- ***خطی*** *(linear)*: در این شیرها درصد افزایش یا کاهش جریان، متناسب با درصد حرکت ساقهٔ شیر است. این مشخصه برای شیرهای بخار کویل‌ها و برای دهانهٔ کنارگذر شیرهای سه‌راهه (bypass port of three- way valves) کاربرد دارند.

۳- ***درصد مساوی*** *(equal percentage)*: در چنین شیرهایی وقتی ساقهٔ شیر از وضعیت بسته به وضعیت باز حرکت می‌کند، افزایش جریان به‌صورت یک تابع نمایی (exponential) خواهد بود. اصطلاح درصد مساوی بدین معنی است که وقتی مقدار نموّ حرکت ساقهٔ شیر در دو حالت متفاوت (increments of stem travel) با یکدیگر برابر باشند، درصد افزایش جریان‌ها نیز برابر خواهد بود. برای مثال، در شکل (۱۵-۳۹) اگر ساقهٔ شیر در دو حالت متفاوت از وضعیت ۵۰٪ به ۷۰٪ حرکت کند، مقدار جریان نیز از ۱۰٪ به ۲۵٪ جریان کامل تغییر خواهد کرد، یعنی مقدار جریان ۱۵٪ افزایش می‌یابد. اکنون اگر ساقهٔ شیر از وضعیت ۸۰٪ به ۱۰۰٪ تغییر کند، مقدار جریان نیز از ۴۰٪ به ۱۰۰٪ جریان کامل تغییر خواهد یافت، یعنی مقدار جریان ۱۵۰٪ افزایش می‌یابد. این مشخصه‌ها برای شیرهای کنترل آب گرم‌کننده و سردکننده (hot and chilled water) توصیه می‌شوند.

برای به حداقل رساندن مشکلات کنترلی و طراحی یک سیستم کارآتر (more efficient system)، طراح باید توجه داشته باشد که چون مشخصه‌های جریان شیر با منحنی عملکرد کویل ترکیب می‌شود، در هنگام طراحی باید از نموداری که مقدار انرژی خروجی از کویل را برحسب حرکت ساقهٔ شیر نشان می‌دهد، استفاده نماید. یک نمونه منحنی مشخصهٔ جریان شیر و منحنی حرارت خروجی از کویل را مطابق شکل (۱۶-۳۹) درنظر

بگیرید و یک ترسیمهٔ جدید که مقدار توان خروجی از کویل نسبت به وضعیت شیر را نشان بدهد، رسم کنید. در کویل‌های سرمایش یا گرمایش با آب (hydronic heating or cooling coil)، استفاده کردن از شیرهایی با درصد مساوی (equal percentage) باعث خواهد شد، منحنی سیستم خطی‌تر و عملکرد سیستم کنترل، کارآتر (more- efficient) باشد. (شکل ۱۶-۳۹).

وقتی افت فشار درون شیر تنظیم جریان را ثابت نگهداریم، سه الگوی جریان به‌دست می‌آید. در شرایط واقعی، مقدار افت فشار درون شیر ثابت نیست و مقدار آن بین حداکثر (وقتی شیر در حال کنترل‌کردن جریان است) و حداقل (وقتی شیر تقریباً کاملاً باز است) متغیر خواهد بود. نسبت این دو افت فشار را توانایی (authority) نامند. شکل‌های (۱۷-۳۹) و (۱۸-۳۹) نشان می‌دهند که چگونه با کاهش توانایی شیر کنترل (به‌دلیل کم درنظرگرفتن افت فشار درون شیر)، مشخصه‌های جریان مربوط به یک شیر خطی (linear) و یا یک شیر با درصد مساوی (equal percentage) از حالت طبیعی خارج خواهد شد.

انتخاب مقدار افت فشار در شیر کنترل، مستقیماً بر توانایی شیر تأثیر دارد. مقدار افت فشار در شیر کنترل را باید حداقل ۲۵٪ تا ۵۰٪ افت فشار حلقهٔ سیستم درنظر گرفت [یعنی افت فشار از فلنج خروجی پمپ تا فلنج مکش پمپ شامل افت فشار در خطوط اصلی، انشعابات تغذیه، کویل انتقال حرارت، انشعاب برگشت، اتصالات، شیر تنظیم جریان (balancing valve) و خط اصلی برگشت جریان]. وقتی مکان نصب شیرهای کنترل صحیح انتخاب شده باشد، می‌توان مقدار افت فشار در تمام شیرهای کنترل را یکسان درنظر گرفت. هر چه مقدار افت فشار شیر بیشتر باشد، اندازهٔ شیر کوچکتر و کنترل بهتر خواهد بود.

۳۹-۴ انتخاب شیر کنترل

مایعات (liquides): شیر و یا هر جزء دیگری که در مدار لوله‌کشی باشد، باعث ایجاد افت فشار یا مقاومت در برابر جریان سیال می‌شود. مقدار این افت فشار از معادلهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$\Delta P = RQ^n(\frac{\rho}{\rho_w}) \qquad (۱)$$

که:

ΔP = افت فشار، psi

R = مقدار مقاومت

ρ = چگالی سیال lb/ft^3

ρ_w = چگالی آب در $60°F$، lb/ft^3

Q = گذر حجمی، gpm

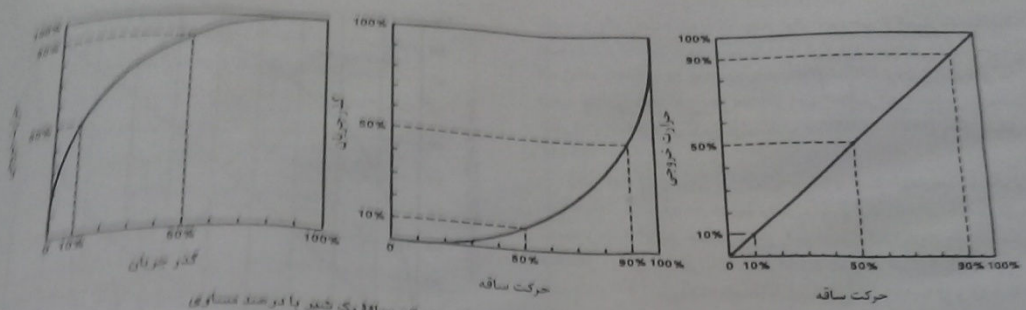
n = ضریب سیستم

برای جریان‌های درهم (turbulent flows) مقدار ضریب n را برابر با ۲ درنظر می‌گیرند، در عین حال برای لوله‌های فولادی $n = 1/85$ است.

برای یک شیر، با درنظرگرفتن $n=2$، از معادلهٔ (۱) داریم:

$$Q = \sqrt{(\frac{\Delta P}{R})(\frac{\rho_w}{\rho})} \qquad (۲)$$

جملهٔ $\sqrt{1/R}$ را می‌توان با ضریب C_v جایگزین کرد و مقدار نسبت ρ_w برای آب در درجه‌حرارت‌های کمتر از $250°F$ تقریباً برابر با ۱ است.



شکل ۱۶-۳۹ مشخصه‌های مقدار گرمای خروجی، جریان و حرکت ساقهٔ یک شیر با درصد مساوی

که در معادلهٔ بالا، Δh = مقدار افت فشار برحسب ستون آب می‌باشد.

در هنگام انتخاب شیر کنترل، باید مقدار C_V مورد نیاز برای ایجاد میزان مورد نظر در افت فشار مفروض (ΔP) از درون آن بگذرد را حساب کرد. مقدار افت فشار برای شیر کنترل را باید ۲۵ تا ۵۰٪ فشار دفع پمپ در نظر گرفت. همانگونه که در بخش «مشخصه‌های جریان در شیرهای کنترل» توضیح داده شد، چنین افت فشاری، بهترین مشخصه‌های جریانی را به همراه خواهد داشت.

برای مایعی که ضریب تصحیح لزجت آن ∇_f است، داریم:

$$Q = \frac{C_V}{\nabla_f}\sqrt{\Delta P\left(\frac{Sg}{\rho}\right)} \qquad (۵)$$

بخار آب (steam): برای جریان بخار آب داریم:

$$W_s = 2.1\,\frac{C_V}{K}\sqrt{\Delta P(P_1 + P_2)} \qquad (۶)$$

که:

W_s = مقدار جریان بخار آب، lb/h

$K = 1 + 0.0007$ = درجه مافوق گرم‌بودن بخار

C_V = ضریب جریان، gpm در $\Delta P = 1$ psi

P_1 = فشار مطلق بخار ورودی

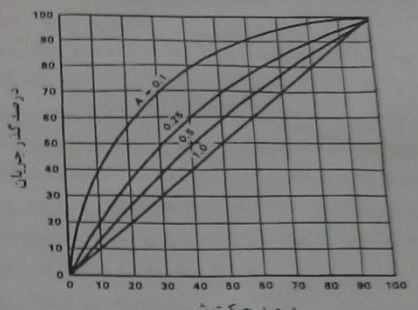
P_2 = فشار مطلق بخار خروجی

ΔP = افت فشار در شیر، $P_1 - P_2$

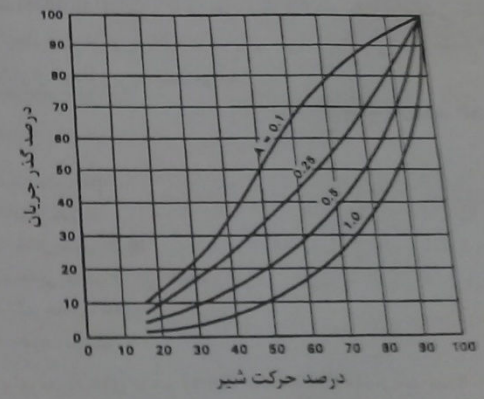
توجه: برخی از سازندگان مقدار ثابت معادلهٔ (۶) را تا ۲/۲ نیز دیگر گرفته‌اند ولی اکثر سازندگان بر روی مقدار ۲/۱ اتفاق نظر دارند. در عین حال، همیشه اندازهٔ شیر کنترل انتخابی را به تأیید سازنده نیز برسانید.

وقتی مقدار فشار بعد از شیر کنترل برابر یا کمتر از ۵۸٪ فشار مطلق ورودی به شیر باشد، بخار آب به‌سرعت بحرانی یا صوت (sonic velocity) خواهد رسید. از این لحظه به بعد، افزوده‌شدن مقدار افت فشار باعث بیشترشدن مقدار جریان عبوری از درون شیر نخواهد شد. وقتی $P_2 \le 0.58P_1$ باشد، از فرمول افت فشار بحرانی زیر می‌توان استفاده کرد:

$$C_V = \frac{W_s}{1.61\,P_1} \qquad (۷)$$



شکل ۱۷-۳۹ توانایی مشخصه‌های یک شیر با جریان خطی



شکل ۱۸-۳۹ برهم خوردن توانایی یک شیر با مشخصهٔ جریان درصد مساوی

بنابراین از معادلهٔ (۲) خواهیم داشت:

$$Q = C_V\sqrt{\Delta P} \qquad (۳)$$

یا

$$Q = 0.067\,C_V\sqrt{\Delta h} \qquad (۴)$$

۳۹-۴-۱ کاربردها

✓ شیرهای کنترل خودکار برای کنترل‌کردن بسیاری از متغیرها کاربرد دارند. رایج‌ترین کاربردها، کنترل درجه‌حرارت، رطوبت، مقدار جریان، و فشار

است، وقتی مقدار گذر جریان در حال کنترل باشد، شیر کنترل افت فشاری را تحمیل خواهد کرد و هنگامی که فشار در حال کنترل است، مقدار حداکثر گذر جریان با توجه به عملکرد شیر تغییر می‌کند. برای اطلاع از بحث تئوری کنترل و برخی کاربردهای شیرهای کنترل، به فصل ۴۸ رجوع کنید.

بنابراین به دو روش کنترل می‌گردد:

۱. وقتی مقدار فشار بخار آب خروجی بیشتر از آن است که در یک کاربری خاص استفاده شود، بنابراین از شیر کاهندهٔ فشار (pressure reducing valve یا PRV)، مقدار فشار را کاهش داد. این نوع شیر معمولاً یک شیر کفه فلزی (globe valve) است، زیرا لازم است آن را به‌طور تدریجی کنترل کنیم (modulating). راهنمای این شیر (pilot) می‌تواند در داخل یا خارج شیر باشد و معمولاً در داخل شیر قرار دارد (self contained) که در آن با استفاده از فشار بخار، عملگر (actuator) شیر به حرکت درمی‌آید. چون مقدار گذر جریان در زمان‌های مختلف ممکن است متفاوت باشد، بنابراین گاهی اوقات بهتر است برای دقیق‌تر شدن کنترل، از دو یا چند شیر موازی که به‌صورت مرحله‌ای باز می‌شوند استفاده گردد.

۲. مقدار گذر بخار به یک مبدل حرارتی را می‌توان در پاسخ به رطوبت و درجه‌حرارت مورد نیاز، کنترل کرد. دراین‌حالت باید همراه با شیر بخار از یک سیستم کنترل نیز استفاده شود. در هنگام انتخاب یک شیر بخاره باید حداکثر مقدار گذر جریان و مقدار فشار بخار ورودی مدّ نظر قرار گیرد. این عوامل با توجه به مقدار افت فشار بحرانی که مقدار جریان را محدود می‌کند، تعیین می‌گردند.

معمولاً شیرهای آب گرم‌کننده و سردکننده (hot and chilled water) توسط درجه‌حرارت و رطوبت مورد نیاز کنترل می‌گردند. هنگام انتخاب یک شیر برای کنترل مقدار گذر جریان، مقدار افت فشار درون شیر را به حدّ کافی زیاد درنظر بگیرید تا شیر بتواند به طرز صحیح جریان را کنترل کند. پاسخ کویل‌های مبدل حرارتی به تغییر مقدار گذر جریان، خطی (linear) نیست و بنابراین باید از شیرهای با درصد مساوی (equal percentage) استفاده نمود و درجه‌حرارت ورود آب به کویل را مطابق با درجه‌حرارت مورد نیاز برای بار (load)، تنظیم و کنترل کرد.

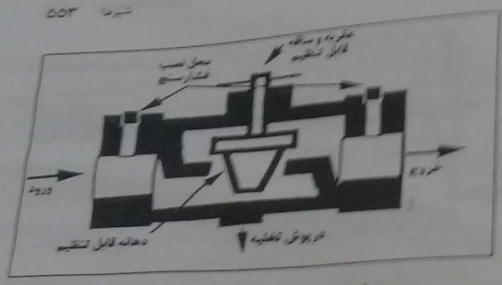
۳۹-۵ شیرهای متعادل‌کننده (balancing valves)

برای متعادل‌کردن سیستم‌های آبی (hydronic system) دو روش وجود دارد:

۱. استفاده از یک شیر دستی و پیش‌بینی محل نصب فشار سنج و دهانهٔ تنظیم (calibration) به نحوی که با آن بتوان مقدار جریان را متعادل کرد.

۲. استفاده از یک شیر خودکار محدودکنندهٔ مقدار جریان (flow- limiting valve) که مقدار حداکثر جریان عبوری از شبکه را به حدّ جریان درنظر گرفته شده در طرح محدود می‌کند.

شیرهای متعادل‌کنندهٔ دستی می‌توانند دارای ساقهٔ گردان (rotary)، بالارونده (rising)، یا غیربالارونده (nonrising) باشند (شکل ۳۹-۱۹).



شکل ۳۹-۱۹ شیر تعادل کنندهٔ دستی

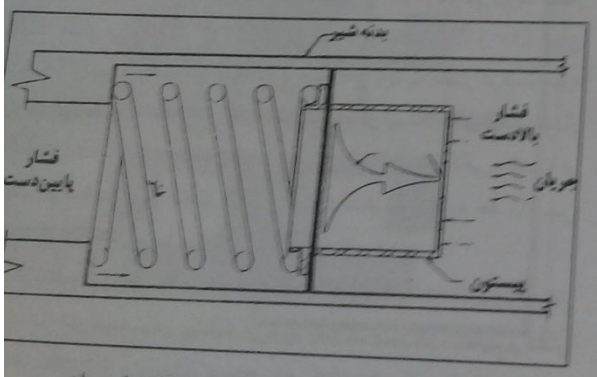
۳۹-۵-۱ شیرهای خودکار محدودکنندهٔ جریان (automatic flow limiting valves)

شیرهای کنترل‌کنندهٔ جریان که توسط اختلاف فشار کار می‌کنند را نیز شیر خودکار محدودکننده جریان می‌نامند (شکل ۳۹-۲۰). با استفاده از این شیر وقتی مقدار افت فشار درون شیر تغییر کند، مقدار جریان سیال به مقدار از پیش تعیین شده (preset value) خواهد رسید. چنین روشی (۱) به جلوگیری از گذر بیش از حدّ سیال در درون شبکه‌ای که نصب شده است کمک می‌کند و (۲) به تنظیم سیستم کلی وقتی اجزاء سیستم (مثلاً شیرهای کنترل تدریجی، پمپ‌ها و غیره) تغییر داده یا تعویض می‌شوند نیز کمک خواهد کرد.

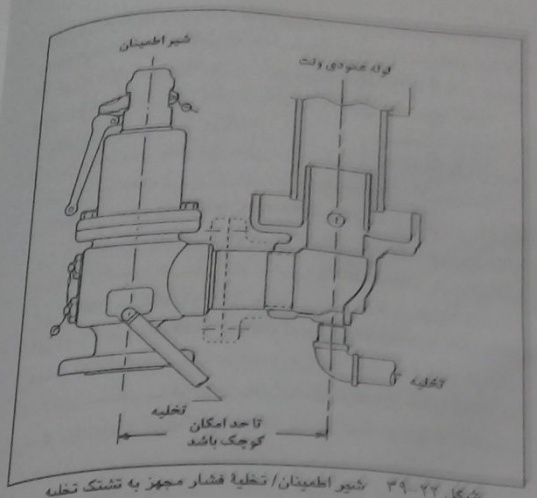
عموماً ساختمان این شیرها دارای یک قسمت متحرّک دارای روزنه (orifice) است که با توجه به نیروهای فشاری، موقعیت خود را تنظیم می‌کند و بدین ترتیب، مساحت گذرگاه جریان را تغییر خواهد داد. یک نمونه از منحنی‌های عملکرد این نوع شیرها در شکل (۳۹-۲۱) دیده می‌شود. در شکل مذکور منحنی جریان به سه محدودهٔ اختلاف فشار تقسیم شده است: (۱) محدودهٔ راه‌اندازی (startup)، (۲) محدودهٔ کنترل، و (۳) محدودهٔ وراء کنترل (above control).

۳۹-۵-۲ نحوهٔ انتخاب شیر متعادل کننده

مقدار افت فشار در شیرهای متعادل‌کننده را کمتر از شیرهای خودکار کنترل درنظر می‌گیرند (معمولاً ۵ تا ۱۰٪ فشار موجود در سیستم). شیر کنترل را براساس مقدار افت فشار وقتی حداکثر جریان از درون شیر می‌گذرد انتخاب



شکل ۳۹-۲۰ شیر خودکار محدودکنندهٔ جریان



شکل ۲۲-۳۹ شیر اطمینان/ تخلیهٔ فشار مجهز به تشتک تخلیه

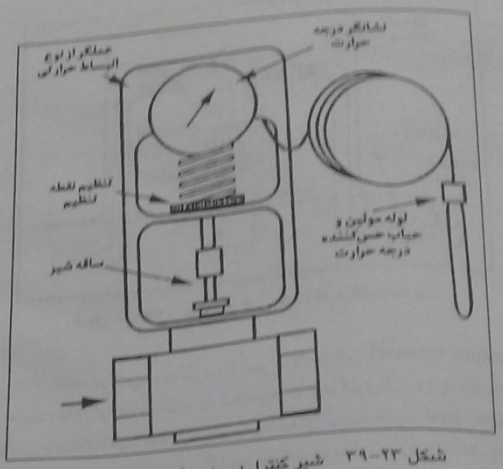
هنگام نصب شیر اطمینان به موارد زیر توجه کنید:

- شیر را به‌صورت عمودی نصب کنید و مجرای تخلیه آن باز باشد تا به‌طور آزاد یا ازطریق لوله‌کشی، تخلیه شود.
- اگر شیر بیش از حدّ محکم شود و یا اگر وزن لولهٔ خروجی به روی بدنهٔ شیر اعمال گردد، ممکن است شیر خراب شود. با استفاده از یک زانو (elbow) در خط تخلیه از شیر اطمینان، می‌توان از وارد شدن وزن لوله‌کشی به روی شیر جلوگیری کرد (شکل ۲۲-۳۹).
- فقط بر روی رزوه‌های لوله‌ای که شیر بر آن بسته می‌شود از مواد روانساز (lubricant) استفاده کنید.
- برای نصب شیر از فلنج‌های تمیز و واشرهای نو استفاده کنید و اتصالات را دقیقاً هم‌محور (align) نمایید. برای جلوگیری از تغییر شکل و خرابی بیشتر، پیچ‌های فلنج را به‌طور یکنواخت محکم کنید.

آزمایش شیرهای اطمینان با توجه به شرایط کار آنها، متفاوت است. در شرایط معمولی، شیرهای اطمینانی که فشار کار آنها کمتر از 400 psia است را باید هر ماه به‌طور دستی و هر سال ازطریق تحت فشار قراردادن آن، آزمایش کرد. برای فشارهای بالاتر، فواصل زمانی آزمایش براساس تجربه به‌دست می‌آید.

۶-۳۹ شیرهای کنترل‌کنندهٔ درجه‌حرارت (temperature control valves)

برخی از شیرهای کنترل‌کنندهٔ درجه‌حرارت، نیاز به منبع انرژی خارجی از قبیل هوای فشرده یا الکتریسیته ندارند (self- operated یا self- contained). این نوع شیرها توسط یک حباب حس‌کنندهٔ درجه‌حرارت (temperature sensing bulb) و لولهٔ موئین (capillary tube) که با یک روغن یا یک مایع فرّار (volatile) پر شده باشد، کار می‌کنند (شکل ۲۳-۳۹). در سیستم‌هایی که لولهٔ موئین با روغن پرشده



شکل ۲۳-۳۹ شیر کنترل درجه حرارت نوع خودمحرک

است، وقتی حباب حس‌کننده گرم شود، روغن منبسط خواهد شد. این انبساط ازطریق لولهٔ موئین به فانوس دستگاه عملگر (actuator bellows) که در بالای شیر قرار دارد منتقل می‌گردد و شیر بسته می‌شود. وقتی حباب حس‌کننده سرد شود، روغن منقبض می‌گردد و در اثر اعمال نیروی فنر به ساقهٔ شیر، شیر باز خواهد گردید.

سیستم‌هایی که در آنها از مایع فرّار استفاده می‌شود را به‌عنوان سیستم‌های با فشار بخار (vapor tension یا vapor pressure) می‌شناسند، وقتی حباب حس‌کننده گرم شود مقداری از مایع فرّار تبخیر خواهد شد و فشار درون سیستم افزایش می‌یابد. ازدیاد فشار ازطریق لولهٔ موئین به فانوس دستگاه محرّک منتقل می‌شود و این فانوس نیز به نوبهٔ خود باعث حرکت ساقه شیر و بسته‌شدن آن می‌گردد.

در سیستم‌های سرمایش و گرمایش (thermal systems)، شیر کنترل به‌طور مستقیم و یا ازطریق یک شیر راهنما (pilot valve) تحریک می‌شود. در شیرهای با تحریک مستقیم، سیستم کنترل مستقیماً ساقهٔ شیر را حرکت می‌دهد و آن را باز یا بسته می‌کند.

در شیرهایی که برای تحریک‌شدن نیاز به منبع انرژی خارجی ندارند (self- contained) و به‌منظور کنترل تناسبی (proportional control) استفاده می‌شوند، حباب حس‌کننده باید یک تغییر درجه‌حرارت را در سیال حس کند. اختلاف درجه‌حرارت از حالت بدون بار (no-load) تا حداکثر مقدار قابل کنترل را به‌عنوان پهنهٔ تناسبی (proportional band) می‌شناسند. چون اندازهٔ این پهنه براساس اندازهٔ شیر تغییر می‌کند، دقّت تمام این شیرها نیز یکسان نخواهد بود. طبق جدول زیر، مقدار پهنهٔ تناسبی را با توجه به نوع کاربری می‌توان بین 2 تا 18°F انتخاب کرد.

کاربری	پهنهٔ تناسبی، °F
مبدل حرارتی تهیهٔ آبگرم بهداشتی	۶ تا ۱۴
سیستم مرکزی آب گرم کننده	۴ تا ۷
سیستم گرمایش ساختمان	۲ تا ۵
سیستم‌های گرمایش انبارهای بزرگ	۴ تا ۱۸

اگرچه زمان پاسخ، دقّت و راحتی تنظیم شیرهای خودکفای کنترل درجه‌حرارت بخار (self-contained steam temperature control valves) به‌خوبی شیرهای دارای سیستم تحریک بادی و الکتریکی نیست ولی کاربرد آنها در بسیاری از موارد پذیرفته شده است.

شیرهای دارای سیستم راهنما (pilot- operated valve) در مواردی کاربرد دارند که با وجود زیادبودن فشار بخار آب، بخواهیم از شیرهای کوچک استفاده می‌کنیم (شکل ۲۲-۳۹).

۳۹-۷ شیرهای کاهش فشار (pressure reducing valve)

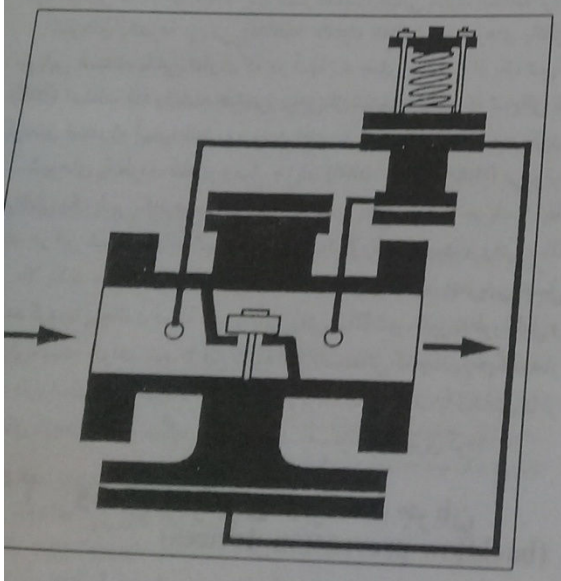
وقتی برای یک فرایند خاص مجبور به استفاده از بخار آب با فشار خیلی زیاد هستند، برای کاهش فشار (که افزایش حرارت نهان بخار را به دنبال دارد) می‌توانید از یک شیر خودکفای کاهش فشار (self-contained pressure reducing valve یا PRV) استفاده کنید. همانگونه که قبلاً در مورد شیرهای کنترل‌کنندهٔ درجه‌حرارت ذکر شد، این شیرها نیز می‌توانند دارای عملکرد مستقیم (direct-acting) باشند و یا با سیستم راهنما کار کنند (pilot- operated). برای اینکه فشار خروجی از شیر برابر با فشار نقطهٔ تنظیم باشد، باید فشار بعد از شیر را اندازه‌گیری و کنترل نمود.

برای تعیین اندازهٔ شیر باید مقادیر گذر جرمی بخار، فشار ورودی و خروجی مورد نیاز، معلوم باشد. اندازهٔ لوله‌ای که شیر بر روی آن نصب می‌شود را با توجه به اطلاعات ارائه شده توسط سازنده تعیین کنید.

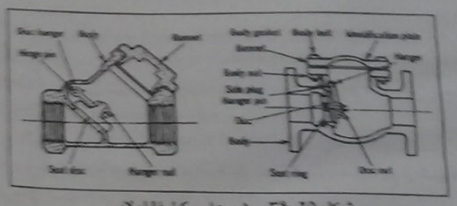
به‌دلیل ساختمان، سادگی، دقت، و سهولت نصب و تعمیرات این شیرها، از آنها به‌طور گسترده در ایستگاه‌های کاهش فشار استفاده می‌گردد.

۳۹-۸ شیرهای یکطرفه (check valves)

شیرهای یکطرفه برای جلوگیری از برگشت جریان به‌کار برده می‌شوند. اصلی‌ترین انواع شیرهای یکطرفه عبارتند از: شیر یکطرفهٔ لولایی (swing check valve)، شیر یکطرفهٔ سوپاپی (lift check valve)، شیر یکطرفهٔ



شکل ۲۴-۳۹ شیر بخار از نوع دارای راهنما



شکل ۲۵-۳۹ شیرهای یکطرفهٔ لولایی

نسبی (ball check valve) و شیر یکطرفه- قطع و وصل جریان (stop-check valve)، بیشتر شیرهای یکطرفه در هر دو نوع رزوه‌ای و فلنجی وجود دارند.

بدنهٔ شیرهای یکطرفهٔ لولایی شبیه شیرهای کف فلزی (globe- valve) یا شیرهای Y هستند. در این شیرها، یک دیسک که به بدنه لولا و آویزان شده است، مسیر جریان را باز یا بسته می‌کند (شکل ۲۵-۳۹). نشیمنگاه (seat) این نوع شیر از جنس فلز است ولی دیسک آن می‌تواند از جنس فلز یا ترکیبات غیرفلزی ساخته شده باشد. به‌کاربردن دیسک‌های غیرفلزی برای مواردی توصیه شده است که سیال دارای ذرّات گل و لای و مواد جامد باشد و یا آب‌بندی دقیق مدّنظر باشد. شیرهای یکطرفه Y دارای دریچهٔ بازدید هستند تا بتوان آنها را تمیز کرد. به‌دلیل مستقیم‌بودن مسیر جریان در شیرهای یکطرفهٔ لولایی، مقدار افت فشار در این شیرها کمتر از شیرهای یکطرفهٔ سوپاپی (lift check valve) است. وقتی جریان به‌صورت ضربانی (pulsating flow) است، برای محدودکردن مقدار سروصدای تولیدی توسط شیر یکطرفه می‌توان از شیرهای یکطرفه‌ای که اهرم دستهٔ آنها دارای وزنه یا فنر است، استفاده کرد.

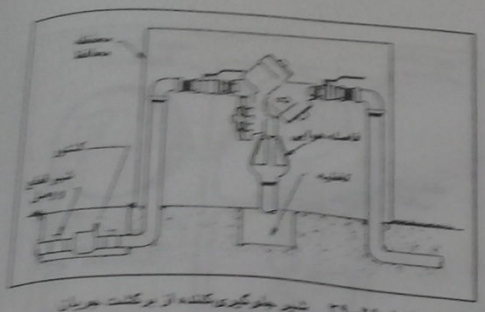
بدنهٔ شیرهای یکطرفهٔ سوپاپی شبیه شیرهای زاویه‌ای (angle valve) یا کف فلزی است. دیسک شیر توسط جریان سیال، باز می‌شود و وقتی جریان در خلاف جهت باشد، بسته خواهد شد. به‌دلیل شکل خاص بدنهٔ این شیرها، مقدار افت فشار در آنها بیشتر از شیرهای یکطرفهٔ لولایی است. پیشنهاد می‌شود شیرهای یکطرفهٔ سوپاپی برای گاز یا هوای فشرده و یا سیستم‌هایی که در آنها مقدار افت فشار اهمیت حیاتی ندارد، استفاده گردند.

شیرهای یکطرفهٔ توپکی (ball check valves) شبیه شیرهای یکطرفهٔ سوپاپی هستند، با این تفاوت که در آنها به جای دیسک، از یک توپک (ball) استفاده شده است. طراحی برخی از شیرهای یکطرفهٔ توپکی به گونه‌ای است که آنها را فقط به‌صورت افقی یا عمودی می‌توان نصب کرد.

شیرهای یکطرفه- قطع و وصل جریان (stop- check valve) می‌توانند هم نقش یک شیر یکطرفه و هم نقش یک شیر قطع و وصل جریان را ایفاء کنند. در این شیرها، ساقهٔ شیر به دیسک plug وصل نیست و وقتی ساقهٔ شیر بالا باشد دیسک plug، شیر شبیه شیرهای یکطرفهٔ سوپاپی عمل خواهد کرد. با پیچاندن دستهٔ شیر و پایین‌رفتن ساقهٔ شیر، شیر به‌طور کامل و یا جزئی، بسته خواهد شد. از این شیرها در تأسیساتی که چندین دیگ بخار وجود دارد استفاده می‌شود تا بدینوسیله از برگشت بخار آب یا کندانسیت از دیگ‌های درحال کار به دیگهایی که متوقف هستند جلوگیری گردد.

۳۹-۹ وسایل جلوگیری از برگشت جریان (backflow prevention devices)

این وسایل در خطوط تغذیهٔ سیستم‌های آب و برای جلوگیری از برگشت



شکل ۲۶-۳۹ شیر جلوگیری‌کننده از برگشت جریان

جریان استفاده می‌شوند. به‌کاربردن شیر خلاء‌شکن (vacuum breaker) در سیستم‌هایی که تحت فشار نیستند موجب جلوگیری از بروز پدیدهٔ سیفونی (back siphonage) و در سیستم‌های تحت فشار (pressurized systems) باعث جلوگیری از برگشت جریان خواهد شد (شکل ۲۶-۳۹).

۳۹-۹-۱ انتخاب

انتخاب شیرهای خلاءشکن و وسایل جلوگیری از برگشت جریان باید براساس مقررات محلی در مورد تأسیسات بهداشتی، ناخالصی‌های موجود در آب، و نوع اتصال (type of cross- connection) انجام شود.

ناخالصی‌ها (impurities) به دو گروه تقسیم می‌شوند: (۱) موادی که در صورت وجود در آب شرب می‌توانند خطرات بهداشتی را به‌همراه داشته باشند (contaminants) و (۲) موادی که اگرچه وجود آنها در آب باعث ایجاد شرایط غیرمتعارف می‌گردد ولی خطرات بهداشتی به‌همراه ندارد (pollutants).

اتصال مستقیم خطوط تغذیه (cross- connection) دو دسته هستند. اتصال در سیستم‌های تحت فشار و سیستم‌هایی که تحت فشار قرار ندارند. در اتصال مستقیم سیستم‌های بدون فشار (non pressure cross- connection)، لولهٔ آب بهداشتی به محلی نصب می‌شود که پایین‌تر از سطح سرریز (overflow) قرار دارد. وقتی این نوع اتصال توسط فاصلهٔ هوایی (air gap) حفاظت نشده باشد، باید آن را با یک شیر خلاء شکن مناسب یا یک وسیلهٔ جلوگیری‌کننده از برگشت جریان محافظت نمود.

در اتصال مستقیم سیستم‌های تحت فشار، لولهٔ آب آشامیدنی به یک مخزن بسته یا سیستم لوله‌کشی‌ای که در فشاری بالاتر از فشار اتمسفر و حاوی یک سیال غیرآشامیدنی (nonpotable) می‌باشد، متصل می‌گردد. چنین اتصالی را فقط با استفاده از وسایل جلوگیری از برگشت جریان باید محافظت کرد. توجه داشته باشید که اتصال مستقیم در سیستم‌های تحت فشار نباید فقط با استفاده از شیر خلاءشکن به تنهایی انجام شود.

لولهٔ تهویه به اتمسفر (atmospheric vent) یا دهانه‌های تخلیهٔ فشار (relief opening) مربوط به شیرهای خلاءشکن و وسایل جلوگیری از برگشت جریان نباید در داخل آب قرار بگیرند.

فصل ۴۱

سیستم‌های توزیع آب آشامیدنی

(WATER SUPPLY AND DISTRIBUTION)

مقدار مصرف آبسرد و آبگرم لوازم بهداشتی (fixture) با توجه به نوع تصرف و کاربری ساختمان، و ساعات روز متفاوت است. در این فصل روش تعیین قطر لوله‌های سیستم‌های تغذیهٔ آب ارائه گردیده است. قبل از تعیین قطر لوله‌کشی آب یک ساختمان، باید مقدار فشار موجود در شبکهٔ شهری در ساعات مختلف شبانه‌روز و در فصول مختلف را از مؤسسات مربوطه اخذ کرد و در هنگام طراحی مدّنظر قرار داد.

از مهم‌ترین مواردی که باید قبل از تعیین قطر قسمت‌های مختلف سیستم لوله‌کشی آب معلوم گردد، مقدار گذر آب در هر کدام از انشعابات است. در این صورت، مقدار گذر جریان خطوط اصلی (mains)، لوله‌های قائم (risers) و انشعابات اصلی از جمع‌کردن مقدار گذر خطوط لوله و لوازم بهداشتی‌ای که توسط آنها تغذیه می‌شوند، به‌دست می‌آیند.

در این فصل فقط سیستم توزیع آبسرد بررسی خواهد شد. برای اطلاع از نحوهٔ محاسبهٔ لوله‌کشی رفت و برگشت آبگرم مصرفی، تعیین ظرفیت آبگرمکن‌ها و... فصل ۱۵ را ببینید. همچنین، برای دیدن جزئیات طراحی، نکات اجرایی، احتیاطات لازم، جنس لوله‌ها و اتصالات، و نحوهٔ آزمایش سیستم‌های آبسرد و آبگرم مصرفی به مبحث ۱۶ از مقررات ملی ساختمان ایران با عنوان تأسیسات بهداشتی مراجعه کنید.

۴۱-۱ کیفیت آب

جدول (۴۱-۱) نوعْ آب مصرفی در کاربری‌های مختلف یک ساختمان را نشان می‌دهد. این فصل عمدتاً در ارتباط با آب آشامیدنی (potable water) است. کیفیت آب با توجه به خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و رادیولوژیکی آن تعیین می‌شود. در جدول (۴۱-۲) حدّ مجاز مواد معدنی در آب آشامیدنی را نشان می‌دهد.

در جدول (۴۱-۳) متداول‌ترین مشکلات موجود در زمینهٔ کیفیت آب و روش رفع آنها نشان داده شده است. فرایندهای تصفیه می‌توانند از ساده‌ترین حالت که ته‌نشین‌کردن (sedimentation) است تا حالت نهایی که تقطیر (distillation) است، متغیر باشد.

۴۱-۲ تعداد لوازم بهداشتی

تعداد لوازم بهداشتی مورد نیاز هر ساختمان با توجه به نوع کاربری و تعداد استفاده کنندگان تعیین می‌شود. جدول (۴۱-۴) حداقل تعداد لوازم بهداشتی برای کاربری‌های مختلف را براساس تعداد استفاده‌کنندگان نشان می‌دهد.

جدول ۴۱-۱ مصارف و کیفیت آب در ساختمانها

نوع استفاده	کیفیت مطلوب
A . مصرفی	
1. Drinking and cooking	Potable
2. Bathing	Potable
3. Laundering	Soft
4. Irrigation and watering of livestock	Unpolluted
5. Industrial processes	As required
6. Vapor to increase the relative humidity of air	
B . درگردش	
1. Hot water for heating	Note: Make-up water should be soft or neutral and, for swimming, potable
2. Chilled water for cooling	
3. Condenser cooling water	
4. Swimming pool water	
5. Steam for heating, later condensed	
C . عموماً ساکن	
1. Water stored for fire protection	No special requirement
2. Water in fire standpipes	
3. Water in sprinkler piping	
D . تحت کنترل	
1. Vapor condensed to reduce relative humidity of air	

۴۱-۳ مقدار مصرف روزانه (daily demand)

مقدار حداقل مصرف روزانهٔ آب بستگی به نوع مصرف‌کننده، استاندارد سطح زندگی، نیازهای شغلی، تعداد افراد خانواده، نیازهای آبیاری و فضای

جدول ۲-۴۱ مقدار مجاز مواد معدنی در آب آشامیدنی

نوع ماده معدنی	ppm وزنی
Arsenic	0.05
Selenium	0.05
Lead	0.1
Fluoride	1.5
Hexavalent chromium	0.05
Zinc	15.0
Copper	3.0
Iron and manganese	0.3
Magnesium	12.5
Chloride	2.5
Sulfate	2.5

سبز، آداب و رسوم افراد و... دارد. براین اساس، مقدار مصرف سرانهٔ آب برای مصارف خانگی را معمولاً ۲۰ تا ۸۰ گالن در روز درنظر می‌گیرند.

مقدار مصرف سرانهٔ آب در مجموعه‌های آپارتمانی‌ای که دارای کنتور مشترک هستند بیشتر از ساختمان‌هایی است که هر واحد مسکونی آن دارای کنتور جداگانه است، زیرا هنگامی که کنتور مشترک باشد در مصرف آب صرفه‌جویی نخواهد شد. جدول (۵-۴۱) مقدار مصرف سرانهٔ آب در ساختمان‌ها و کاربری‌های مختلف را نشان می‌دهد.

۴۱-۴ مقدار مصرف همزمان (simultaneous use)

تعداد تقاضای آب در یک ساختمان را نمی‌توان دقیقاً و به آسانی استاندارد کرد. دو مشکل اصلی در این رابطه وجود دارد: (۱) تغذیهٔ رضایتبخش آب برای هر کدام از لوازم بهداشتی و مصرف کنندگان و (۲) تعداد لوازمی که ممکن است به‌طور همزمان مورد استفاده قرار گیرند.

جدول (۶-۴۱) مقدار جریان و فشار مورد نیاز برای لوازم مختلف را نشان می‌دهد. فشار مورد نیاز برای تامین مقدار آب نشان داده شده در جدول با توجه به طرح لوازم متفاوت خواهد بود. در هنگام تعیین مقدار مصرف معمولاً گذر جریان را برحسب واحد مصرف (supply fixture unit یا S.F.U) بیان می‌کنند. در جدول (۷-۴۱) مقدار تقاضای لوازم مختلف برحسب S.F.U نشان داده شده است. همانگونه که در ذیل این جدول ذکر شده است، در لوازمی که آبسرد و آبگرم را به‌طور همزمان مصرف می‌کنند، مقدار آبسرد و آبگرم مصرفی برابر با ۷۵٪ مصرف کل می‌باشد.

با توجه به اینکه احتمال مصرف همزمان تمام لوازم متصل به شبکهٔ آبرسانی بسیار ضعیف و قابل اغماض است، باید برای تبدیل برآورد مقدار مصرف از ضریب همزمانی استفاده کرد. در شبکه‌های آبرسانی در عوض ضریب همزمانی، از نمودارهایی که برای این موضوع و براساس فرضیهٔ احتمالات (probability theory) تهیه شده‌اند استفاده می‌شود. پس از مشخص شدن مقدار تقاضا در هر قسمت از شبکهٔ توزیع آب برحسب S.F.U، با مراجعه به نمودار همزمانی که در شکل (۸-۴۱) نشان داده شده است، می‌توان مقدار مصرف را برحسب gpm به‌دست آورد. اکنون باید مقدار مصارف لوازمی که در جدول (۷-۴۱) ذکر نشده است و همچنین مصارف تاسیساتی و مصارف خاص را نیز به آن افزود.

۴۱-۵ فشار مورد نیاز و مقدار افت فشار

وقتی آب در لوله جریان دارد، مقدار فشار آن در امتداد لوله (در اثر اصطکاک انرژی به‌دلیل اصطکاک) کاهش می‌یابد. مقدار افت فشار تابع طول، قطر، زبری سطح داخلی لوله، و سرعت آب در درون لوله دارد. مقدار حداقل فشار مورد نیاز برای سیستم‌های دارای فلاش والو (flush valve) را ۱۵ psi و برای سایر سیستم‌ها 8 psi درنظر بگیرید. مقدار اختلاف بین فشار خط آبرسانی شهری (یا فشار خروجی از منبع ذخیره یا ایستگاه پمپاژ) و فشار مورد نیاز لوازم باید بتواند بر مجموع افت فشار سیستم توزیع و اختلاف ارتفاع خطوط اصلی تا بالاترین وسیلهٔ مصرف‌کننده (که از ضرب‌دربرون ۰/۴۳ در اختلاف ارتفاع برحسب فوت به‌دست می‌آید) غلبه کند.

لوله‌ها از نظر چگونگی سطوح داخلی به سه دسته تقسیم می‌شوند صاف (smooth)، نسبتاً زبر (fairly rough)، وزبر (rough) در هنگام محاسبهٔ قطر لوله‌ها فقط لوله‌هایی را می‌توان صاف درنظر گرفت که در فاصلهٔ زمانی ۱۵ تا ۲۰ سال، سطح داخلی آن زبر نشود. براین اساس، لوله‌های برنجی (brass)، مسی، و سربی را می‌توان لولهٔ صاف تصور کرد.

اکثر لوله‌های معمولی (از قبیل لوله‌های گالوانیزه، فولادی، و چدنی) را می‌توان پس از چند سال به‌عنوان لوله‌های نسبتاً زبر درنظر گرفت. سطح داخلی این لوله‌ها پس از ۱۵ تا ۲۰ سال از عمرشان، به‌صورت شدید تخریب نخواهند شد.

لوله‌های زبر، لوله‌هایی هستند که سریعاً در فاصلهٔ زمانی ۱۰ تا ۱۵ سال پس از بهره‌برداری تخریب می‌شوند. اگر خواص آب به‌گونه‌ای است که با رسوب‌گذاری باعث کاهش سطح مقطع لوله می‌شوند و یا وقتی لوله‌های قدیمی با لوله‌های نو تعویض می‌گردند، معمولاً لوله‌ها را زبر درنظر می‌گیرند.

نمودارهای (۹-۴۱) تا (۱۱-۴۱) مقدار اتلاف اصطکاکی لوله‌های با قطرهای مختلف را براساس نوع لوله (صاف، نسبتاً زبر، زبر) نشان می‌دهد.

در هنگام محاسبهٔ مقدار افت فشار سیستم توزیع باید علاوه بر افت فشار لوله‌ها، افت فشار در شیرها، اتصالات و کنتورها را نیز درنظر گرفت. نمودار (۱۲-۴۱) مقدار افت فشار در کنتورهای دیسکی (disk type meters)، جدول (۱۳-۴۱) مقدار افت فشار در اتصالات لوله‌کشی برحسب طول معادل لوله و جدول (۱۴-۴۱) مقدار افت فشار در لوازم مخصوص و اتصالات را نشان می‌دهد.

۴۱-۶ سیستم‌های تغذیه از بالا و تغذیه از پایین (down feed and upfeed systems)

اصول حاکم بر تعیین اندازهٔ لوله‌های سیستم‌های تغذیه از بالا (down feed) و تغذیه از پایین (upfeed) مشابه یکدیگر است. اختلاف اصلی این دو روش در این‌است‌که در سیستم‌های تغذیه از بالا، اختلاف ارتفاع بین مخزن ذخیره و لوازم بهداشتی، فشار لازم برای غلبه بر اصطکاک لوله‌ها را تامین می‌کند.

جدول ۳-۴۱

مشکل	علت	اثرات زیان‌آور	روش اصلاح
سختی	Calcium and magnesium salts from underground flow	Clogging of pipes by scale, burning out of boilers, and impaired laundering and food preparation	Ion-exchanger (Zeolite process)
خوردگی	Acidity, entrained oxygen and carbon dioxide (low pH)	Closing of iron pipe by rust, leaking connections, destruction of brass pipe	Raising the alkaline content (Neutralizer)
آلودگی بیولوژیکی	Contamination by organic matter or sewage	Disease	Chlorination by sodium hypochlorite or chlorine gas
رنگ	Iron and manganese	Discoloration of fixtures and laundry	Chlorination and fine filtration
مزه و بو a	Organic matter	Unpleasantness	Filtration through activated carbon (Purifier); aeration
کدورت a	Silt or suspended matter picked up in surface or near-surface flow	Unpleasantness	Filtration

[a]These problems are not common in private systems that use deep wells.

جدول ۴-۴۱ حداقل تعداد لوازم بهداشتی در ساختمانهای کوناگون

نوع کاربری ساختمان	توالت	پیسوار	دستشویی	وان- دوش	آبخوری	لوازم دیگر
تئاتر سینما سالن‌های اجتماعات	۱عددبرای ۱۲۵نفر	۱عددبرای ۲۵۰نفر	۱عددبرای ۲۰۰نفر		۱عددبرای ۱۰۰۰نفر	۱عدد سینک
باشگاه	۱عددبرای ۴۰نفر	۱عددبرای ۸۰نفر	۱عددبرای ۷۵نفر		۱عددبرای ۵۰۰نفر	۱عدد سینک
رستوران	۱عددبرای ۷۵نفر	۱عددبرای ۱۵۰نفر	۱عددبرای ۲۰۰نفر		۱عدد برای ۵۰۰نفر	۱عدد سینک
سالن کنسرت، موزه	۱عددبرای ۱۲۵نفر	۱عددبرای ۲۵۰نفر	۱عددبرای ۲۰۰نفر		۱عددبرای ۱۰۰۰نفر	۱عدد سینک
ورزشگاه، استخر	۱عددبرای ۱۰۰نفر	۱عددبرای ۲۰۰نفر	۱عددبرای ۱۵۰نفر		۱عددبرای ۵۰۰نفر	۱عدد سینک
فروشگاه	۱عددبرای ۲۵نفر	۱عددبرای ۵۰نفر	۱عددبرای ۴۰نفر		۱عددبرای ۱۰۰نفر	۱عدد سینک
ساختمانهای آموزشی	۱عددبرای ۵۰نفر	۱عددبرای ۷۵نفر	۱عددبرای ۵۰نفر		۱عددبرای ۱۰۰نفر	۱عدد سینک
کارخانه‌ها و مراکز صنعتی	۱عددبرای ۱۵نفر	۱عددبرای ۵۰نفر	۱عددبرای ۲۰نفر	۱عدد دوش برای ۱۵نفر	۱عددبرای ۱۰۰نفر	۱عدد سینک
مؤسسات عمومی	۱عددبرای ۱۰نفر	۱عددبرای ۳۰نفر	۱عددبرای ۱۰نفر	۱عددبرای ۸نفر	۱عددبرای ۱۰۰نفر	۱عدد سینک
بیمارستان بیماران[1] کارکنان مراجعین	۱عددبرای ۸نفر ۱عددبرای ۲۵نفر ۱عددبرای ۷۵نفر	۱عددبرای ۵۰نفر	۱عددبرای ۱۰نفر ۱عددبرای ۳۵نفر ۱عددبرای ۱۰۰نفر	۱عددبرای ۱۵نفر	۱عددبرای ۱۰۰نفر ۱عددبرای ۱۰۰نفر ۱عددبرای ۵۰۰نفر	۱عدد سینک در هر طبقه
زندان زندانیان زندانبانان مراجعین	۱عددبرای ۱۵نفر ۱عددبرای ۲۵نفر ۱عددبرای ۷۵نفر	۱عددبرای ۵۰نفر ۱عددبرای ۵۰نفر	۱عددبرای ۱۵نفر ۱عددبرای ۳۵نفر ۱عددبرای ۱۰۰نفر	۱عددبرای ۱۵نفر	۱عددبرای ۱۰۰نفر ۱عددبرای ۱۰۰نفر ۱عددبرای ۵۰۰نفر	۱عدد سینک
هتل، متل[2]	۱عددبرای ۱۰نفر		۱عددبرای ۱۰نفر	۱عددبرای ۸نفر	۱عدد برای ۱۰۰نفر	۱عدد سینک
آپارتمان	۱عددبرای هر آپارتمان		۱عددبرای هر آپارتمان	۱عددبرای هر آپارتمان		۱عدد سینک در هر آپارتمان
حوابگاه	۱عددبرای ۱۰نفر	۱عددبرای ۲۵نفر	۱عددبرای ۱۰نفر	۱عددبرای ۸نفر	۱عددبرای ۱۰۰نفر	۱عدد سینک
انبار	۱عددبرای ۱۰۰نفر		۱عددبرای ۱۰۰نفر	۱عددبرای ۱۵نفر	۱عددبرای ۱۰۰۰نفر	۱عدد سینک
ساختمان اداری	۱عددبرای ۲۰نفر	۱عددبرای ۵۰نفر	۱عددبرای ۲۵نفر		۱عددبرای ۷۵نفر	۱عدد سینک در هر طبقه

۱- در اتاق‌های بستری یک تختی هر اتاق باید یک دستشویی، یک توالت و یک دوش با وان داشته باشد، اتاق بستری چندتختی دست کم باید یک دستشویی داشته باشد

۲- در هر اتاق خواب یک دستشویی و یک توالت و یک دوش با وان باید باشد

جدول ۵-۴۱ راهنمای تخمین مقدار آب مصرفی

نوع ساختمان	مصرف روزانه	
	Gallons	(Liters)
Airports (per passenger)	3–5	(11–19)
Apartments, multiple family (per resident)	60	(227)
Bath houses (per bather)	10	(38)
Camps		
Construction, semipermanent (per worker)	50	(189)
Days with no meals served (per camper)	15	(57)
Luxury (per camper)	100–150	(378–568)
Resorts, day and night, with limited plumbing (per camper)	50	(189)
Tourist, with central bath and toilet facilities (per person)	35	(132)
Cottages with seasonal occupancy (per resident)	50	(189)
Courts, tourist, with individual bath units (per person)	50	(189)
Clubs		
Country (per resident member)	100	(378)
Country (per nonresident member present)	25	(95)
Dwellings		
Boardinghouses (per boarder)	50	(189)
Additional kitchen requirements for nonresident boarders	10	(38)
Luxury (per person)	100–150	(378–568)
Multiple-family apartments (per resident)	40	(151)
Rooming houses (per resident)	60	(227)
Single family (per resident)	50–75	(189–284)
Estates (per resident)	100–150	(378–568)
Factories (gallons per person per shift)	15–35	(57–132)
Highway rest area (per person)	5	(19)
Hotels with private baths (two persons per room)	60	(227)
Hotels with private baths (per person)	50	(189)
Institutions other than hospitals (per person)	75–125	(284–473)
Hospitals (per bed)	250–400	(946–1514)
Laundries, self-service (gallons per washing—i.e., per customer)	50	(189)
Livestock (per animal)		
Cattle (drinking)	12	(45)
Dairy (drinking and servicing)	35	(132)
Goat (drinking)	2	(8)
Hog (drinking)	4	(15)

جدول ۵-۴۱ راهنمای تخمین مقدار آب مصرفی (ادامه)

نوع ساختمان	مصرف روزانه Gallons	(Liters)
Horse (drinking)	12	(45)
Mule (drinking)	12	(45)
Sheep (drinking)	2	(8)
Steer (drinking)	12	(45)
Motels with bath, toilet, and kitchen facilities (per bed space)	50	(189)
With bed and toilet (per bed space)	40	(151)
Parks		
Overnight, with flush toilets (per camper)	25	(95)
Trailer, with individual bath units, no sewer connection (per trailer)	25	(95)
Trailer, with individual baths, connected to sewer (per person)	50	(189)
Picnic		
With bathhouses, showers, and flush toilets (per picnicker)	20	(76)
With toilet facilities only (gallons per picnicker)	10	(38)
Poultry		
Chickens (per 100)	5–10	(19–38)
Turkeys (per 100)	10–18	(38–68)
Restaurants with toilet facilities (per patron)	7–10	(26–38)
Without toilet facilities (per patron)	2½–3	(9–11)
With bar/cocktail lounge (additional quantity per patron)	2	(8)
Schools		
Boarding (per pupil)	75–100	(284–378)
Day, with cafeteria, gymnasium, and showers (per pupil)	25	(95)
Day with cafeteria but no gymnasiums or showers (per pupil)	20	(76)
Day without cafeteria, gymnasiums, or showers (per pupil)	15	(57)
Service stations (per vehicle)	10	(38)
Stores (per toilet room)	400	(1514)
Swimming pools (per swimmer)	10	(38)
Theaters		
Drive-in (per car space)	5	(19)
Movie (per auditorium seat)	5	(19)
Workers		
Construction (per person per shift)	50	(189)
Day (school or office, per person per shift)	15	(57)

Source: Manual of Individual Water Supply Systems (1975).