فصل

9

هوای فشرده

Compressed air

9-1- کاربرد هوای فشرده در صنایع
9-2- تعاریف
9-3- کمپرسورها
9-4- رطوبت‌گیری هوای فشرده
9-5- مخزن هوای فشرده (Receiver)
9-6- شبکه هوای فشرده
9-7- برآورد مصرف
9-8- محاسبه قطر لوله‌کشی هوای فشرده
9-9- تعیین ظرفیت کمپرسور و درایر
9-10- تجهیزات جنبی شبکه لوله‌کشی هوای فشرده
9-11- لوله و اتصالات مصرفی
9-12- کمپرسورخانه

در این بخش کلمات و نام‌های انگلیسی بصورت زیر بفارسی ترجمه شده است:

هوای فشرده (Compressed air)
کمپرسور (Compressor)
رسیور (مخزن هوای فشرده) (Receiver)
آب جداکن (Water Seperator)
رگولاتور (فشارشکن هوای فشرده) (Regulators)
روغن زن (Lubricator)

1-9- کاربرد هوای فشرده در صنایع

هوای فشرده تقریباً در تمام صنایع مورد مصرف دارد که هر یک بنوعی از آن استفاده می‌کنند، در بضی از صنایع برای استفاده در ماشین‌آلات بمنظور خنک کردن یاطاقان‌های با سرعت بسیار زیاد (ماشین آلات ریسندگی در نساجی) و نیز بحرکت در آوردن مکانیزم‌ها در ماشین‌ها، و در بعضی از آنها برای تمیز کردن قطعات و یا ماشین‌آلات (صنایع فلزی و صنایع نساجی)، و نیز در بسیاری از صنایع ماشین‌سازی برای استفاده در ابزار آلاتی که موتور آنها با هوای فشرده کار می‌کند (دریل - آچار - جرثقیل)، همچنین در شبکه لوله‌کشی اسپرینکلرهای آتش‌نشانی برای سیستم Dry Pipe بکار می‌رود.

استفاده از هوای فشرده در صنایع بدلیل تولیدنسبتاً ساده و ارزان آن نسبت به برق و بی‌خطر بودن آن، و همچنین کاربرد وسیع و متنوع آن و نیز تجهیزات ساده در شبکه لوله‌کشی و کم اهمیت بودن لیک کردن هوا از لوله‌ها و ایجاد فشار برای انجام کار و بسیاری موارد دیگر مقرون به صرفه می‌باشد.

2-9- تعاریف

1- هوای استاندار **Standard Air**

هوا با درجه حرارت 20^{0c} و رطوبت نسبی 65% در فشار یک اتمسفر (1.103^{bar}) را هوای استاندارد می‌گویند.

F.a.d -2 **Free Air Delivering**

هوا در فشار اتمسفر را هوای Free می‌گویند و معمولاً مقدار مصرف هر مصرف کننده به F.a.d داده می‌شود.

3- نسبت فشرده شدن هوا **Ratio of Compression**

وقتی گفته می‌شود یک کمپرسور بظرفیت 100 لیتر در دقیقه یا $100dm^3/Min$ (هر دسیمتر مکعب برابر 1000سانتیمتر مکعب یا یک لیتر میباشد) و فشار 5 اتمسفر (یا 5.5^{bar}) می‌باشد، یعنی این کمپرسور 100 لیتر هوای موجود در اتمسفر (Free air) راگرفته و فشرده می‌کند و به فشار 5 اتمسفر میرساند.

نسبت فشرده شدن هوا (ضریب تراکم)، در هر فشاری نسبت به هوای اتمسفر، در جدول (1) نشان داده شده است.

بنابراین درکمپرسور فوق حجم 100لیتر هوای (F.a) در فشار 5 اتمسفر طبق جدول (1) به نسبت 5.94 کاهش می‌یابد، لذا:

$$\text{حجم هوای فشرده شده در 5 اتمسفر} = \frac{100}{5.94} = 16.8^{dm3(lit)}$$

یعنی:

100لیتر هوا در فشار اتمسفر ← فشرده می‌شود ← 5^{atm} میرسد به فشار ← حجم آن کاهش می‌یابد ← 16.8lit

بنابراین: $V_2 = \frac{V_1}{R}$

در رابطه فوق فرض شده است که در جه حرارت هوا در ورود و خروج از کمپرسور برابر باشد، در صورتیکه درجه حرارت ورود و خروج هوا متفاوت باشند رابطه بصورت زیر در می‌آید:

$$V_2 = \frac{V_1}{R} \times \frac{(273 + T_1}{(273 + T_2)}$$

که در آن:

V_2 = یا لیتر، حجم هوا پس از فشرده شدن (m^2)

V_1 = یا لیتر، حجم هوا در ورود به کمپرسور (m^2)

R = نسبت فشرده شدن هوا (ضریب تراکم)

T_1 = F.a.d درجه حرارت هوای (C°)

T_2 = درجه حرارت هوای فشرده شده (C°)

در سیستم B.S رابطه بصورت زیر در می‌آید

$$V_2 = \frac{V_1}{R} \times \frac{(460 + T_1)}{(460 + T_2)}$$

که T_1 و T_2 برحسب درجه فارنهایت و V_1 و V_2 برحسب فوت مکعب می‌باشد.

بدون استفاده از جدول (1) می‌توان حجم هوا را پس از فشرده شدن از رابطه زیر تعیین نمود، یعنی حجم هر لیتر هوا F.A.D در فشار P (فشار کمپرسور) بصورت زیر میباشد :

$$1^{lit} \text{ هوای f.a.d} \times \frac{1^{bar}}{P + 1^{bar}} = \frac{1}{P + 1}$$

(در سیستم B.S $V_2 = \frac{V_1 \times 14.7}{P + 14.7}$ می‌شود)

$$V_2 = \frac{V_1}{P + 1}$$

مثلاً 100 لیتر هوای f.a.d در فشار 7^{bar} برابر می‌شود با:

$$V = 100 \left(\frac{1}{7+1}\right) = 12.5^{lit}$$

همچنین می‌توان هوای فشرده تحت فشار معینی را، به f.a.d تبدیل نمود که در اینصورت مقادیر جدول (1)، باید در مقدار مصرف، در همان فشار معین جزب شود تا f.a.d بدست آید. مثلاً 16.8 لیتر هوای فشرده تحت فشار 5^{bar} را به f.a.d تبدیل مینمائیم:

$$16.8 \times 5.94 = 100^{lit}$$

جدول (2) مقادیر حجم هوا را در فشارهای رایج نشان می‌دهد.

3-9- کمپرسورها Compressors

کمپرسورها در انواع مختلف ساخته می‌شوند که عبارتند از :

1- کمپرسور پیستونی (Reciprocating Compressor)

2- کمپرسور روتاری (Rotary - Compressor)

3- کمپرسور سانتریفوژ (Centrifugal Compressor)

کمپرسورهای روتاری خود در انواع زیر می‌باشد :

- کمپرسور پیچی (Screw)
- کمپرسور غلطکی (Rolling Piston)
- کمپرسور تیغه‌ای (Rotating Vane)
- کمپرسور مارپیچ (Scroll)

رایج‌ترین کمپرسورها برای هوای فشرده کمپرسور پیستونی و کمپرسور پیچی می‌باشند. ساختمان داخلی کمپرسورهای هوای فشرده، شباهت زیادی به کمپرسورهای برودتی در سیستم تبرید دارد که برای آشنائی با آنها می‌توان به فصل سوّم مراجعه نمود.

Table 1 SI Metric Units Ratio of Compression

Gauge Pressure bar	0·5	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	18
Ratio of Compression	1·5	1·99	2·97	3·96	4·95	5·94	6·92	7·91	8·9	10·87	12·85	14·82	18·77

Table 1 Imperial Units Ratio of Compression

Gauge Pressure psi	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	200
Ratio of Compression	5·05	5·76	6·44	7·12	7·8	8·48	9·16	9·84	10·52	11·2	14·6

Table 2 SI Metric Units Equivalent Volume of Compressed Air at Common Pressures

Volume of Free Air dm^3	Equivalent Volume (dm^3) when compressed to gauge pressures of 4 bar	5 bar	7 bar
5	1·01	0·84	0·63
10	2·02	1·68	1·26
15	3·03	2·52	1·90
20	4 04	3·37	2·53
25	5·05	4·21	3·16
30	6·06	5·05	3·79
35	7·07	5·89	4·42
40	8·08	6·73	5·06
50	10·1	8·42	6·32
60	12·1	10·1	7·58
70	14·1	11·8	8·85
80	16·2	13·5	10·1
90	18·2	15·1	11·4
100	20·2	16·8	12·6
125	25·2	21·0	15·8
150	30·3	25·2	19·0
175	35·3	29·5	22·1
200	40·4	33·7	25·3
225	45·4	37·9	28·4
250	50·5	42·1	31·6
275	55·5	46·3	34·8
300	60·6	50·5	37·9
350	70·7	58·9	44·2
400	80·8	67·3	50·6
500	101·0	84·2	63·2
750	151·0	126·0	95·0
1000	202·0	168·0	126·0
1250	252·0	210·0	158·0

Table 2 Imperial Units Equivalent Volume of Compressed Air at Common Pressures

Cubic Feet Free Air	Equivalent Volume (cu ft) when compressed to pressures of 60 psi	80 psi	100 psi
10	1·96	1·55	1·28
20	3·94	3·10	2·56
30	5·89	4·65	3·84
40	7·86	6·20	5·12
50	9·84	7·74	6·41
60	11·8	9·29	7·68
70	13·8	10·8	8·96
80	15·7	12·4	10·2
90	17·7	14·0	11·5
100	19·6	15·5	12·8
125	24·6	19·4	15·8
150	29·5	23·5	19·2
175	34·4	27·2	22·4
200	39·4	31·0	25·6
250	49·2	38·7	31·6
300	58·9	46·5	38·4
350	68·8	54·2	44·8
400	78·6	62·0	51·2
450	88·4	69·7	57·7
500	98·4	77·4	63·3
600	118·0	92·9	76·9
700	138·0	108·0	89·6
800	157·0	124·0	103·0
900	177·0	140·0	115·0
1000	196·0	155·0	127·0
1500	295·0	232·0	192·0
2000	394·0	310·0	256·0
2500	492·0	387·0	316·0

۹-۸- رطوبت‌گیری هوای فشرده

وجود رطوبت و مواد زائد و کثیف در هوای فشرده سبب فرسایش ابزار آلاتی که با هوای فشرده کار می‌کنند می‌گردد، و نیز در ماشین آلات سبب گرفتگی مسیر عبور هوا، زنگ‌زدگی قطعات و کاهش راندمان سیستم می‌گردد. همچنین اگر برای پاشش رنگ استفاده شود سبب گرفتگی سوراخ رنگ‌پاش میشود و بالاخره برای اینکه شبکه دارای بهره‌وری خوب باشد و سبب فرسایش ابزار آلات و سایر مصرف کننده‌ها نشود باید عاری از هرگونه مواد زائد و بخصوص آب ناشی از رطوبت هوا باشد.

در هوای اتمسفر همیشه رطوبت وجود دارد و مقدار آن بستگی به رطوبت نسبی هوا دارد، مقدار رطوبتی که حجم معینی در هوا می‌تواند بگیرد به درجه حرارت آن بستگی دارد یعنی هر چه درجه حرارت بیشتر باشد رطوبت بیشتری در خود می‌تواند جای دهد و هر چه درجه حرارت کمتر شود مقدار رطوبت هوا کاهش می‌یابد شکل (1) این تغییرات را نشان میدهد.

همچنین هر چه فشار هوا افزایش یابد قابلیت حمل رطوبت در آن کمتر می‌شود. لذا وقتی هوای اتمسفر (Free Air) وارد کمپرسور شود دو مورد اتفاق می‌افتد، اول اینکه چون هوا در کمپرسور فشرده شده و حجم آن کاهش یافته قابلیت حمل آب در آن کاهش می‌یابد، و دیگر اینکه چون درجه حرارت آن افزایش یافته، قابلیت حمل آب در آن افزایش می‌یابد، و لذا هوای فشرده شده بطور متوسط همان مقدار رطوبت هوای ورودی به کمپرسور را حمل می‌کند.

در نتیجه هر وسیله‌ای که درجه حرارت هوای خروجی از کمپرسور راکاهش دهد سبب کندانس شدن رطوبت در آن می‌شود.

در کمپرسورهای چند طبقه (Multi Stage) درجه حرارت هوا در خروجی از هر طبقه و ورود به طبقه دیگر توسط Intercooler کاهش داده می‌شود تا درجه حرارت هوا در طبقات دیگر زیاد نشود (چون سبب انبساط قطعات و خراب شدن درزبندی‌ها می‌گردد) و در نتیجه مقداری از رطوبت هوا در این نقاط کندانس می‌شود که توسط تراپ‌های هوای فشرده (Air Trap) بطور اتوماتیک خارج می‌گردد، سیستم خنک کردن هوا در Inter Cooler توسط آب و یا روغن انجام می‌گردد، در سیستم مدار بسته آبی یک برج خنک کن کوچک (Cooling Tower) آب را خنک کرده (شکل‌های 3,2) و مجدداً به سیستم برمی‌گردند، در سیستم مدار باز آبی، آب پس از عبور از سیستم بخارج تخلیه می‌گردد، که یک سیستم کنترل درجه حرارت عبور آب را کنترل می‌کنند (شکل 4) آب خنک‌کن از یک نقطه وارد می‌شود و پس از عبور از کلیه طبقات کمپرسور خارج می‌شود.

در سیستم خنک‌کردن با روغن از یک مدار بسته استفاده می‌شود که روغن از تمام طبقات عبور کرده و وارد یک کویل (مثل رادیاتور اتومبیل) که دارای یک وزنده است می‌شود و خنک می‌گردد. وزنده (Fan) توسط محور کمپرسور بحرکت در می‌آید. همچنین هوای خروجی از کمپرسور باید خنک شود که درجه حرارت آن در حدی باشد که به سیستم‌های حساس مصرف کننده صدمه نزند (مثل شیرهای اتوماتیک دیافراگمی و نظایر آن) و در ضمن مقداری از رطوبت هوا نیز گرفته می‌شود. این عمل توسط افترکولر

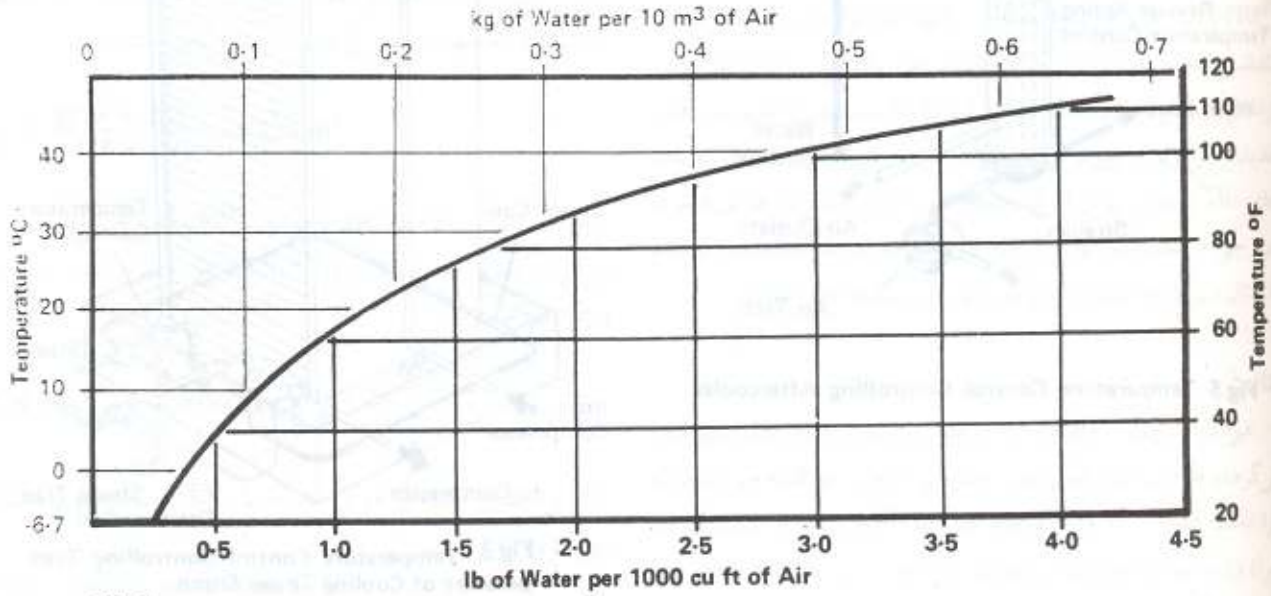


Fig 1

(After Cooler) انجام می‌گیرد که یا آبی و یا هوائی میباشد در نوع آبی هوا از داخل یک استوانه عبور می‌کند و آب از داخل یکسری لوله قائم عبور می‌نماید، در نتیجه تماس هوا با لوله‌های حاوی آب سبب خنک شدن آن می‌شود (شکل 5).

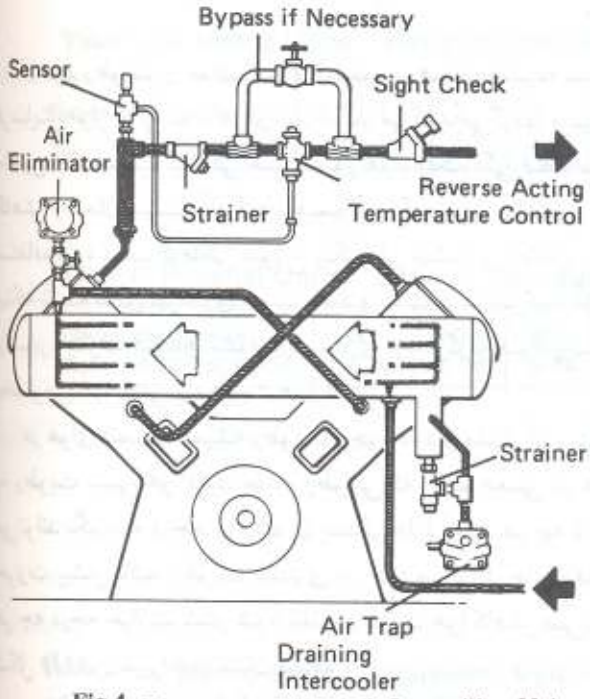


Fig 4 Temperature Control Controlling Mains Water Cooling of Two-Stage Compressor

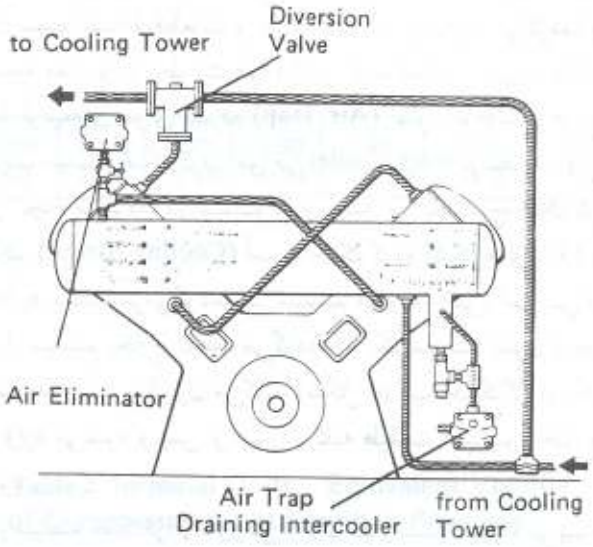


Fig 2 Diversion Valve Controlling Compressor on Closed Circuit Cooling

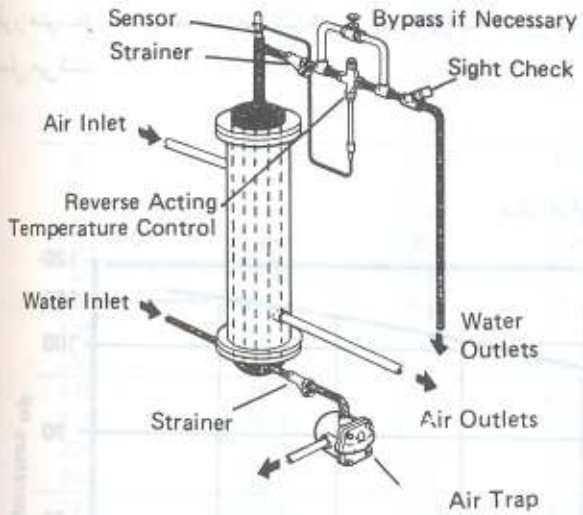


Fig 5 Temperature Control Controlling Aftercooler

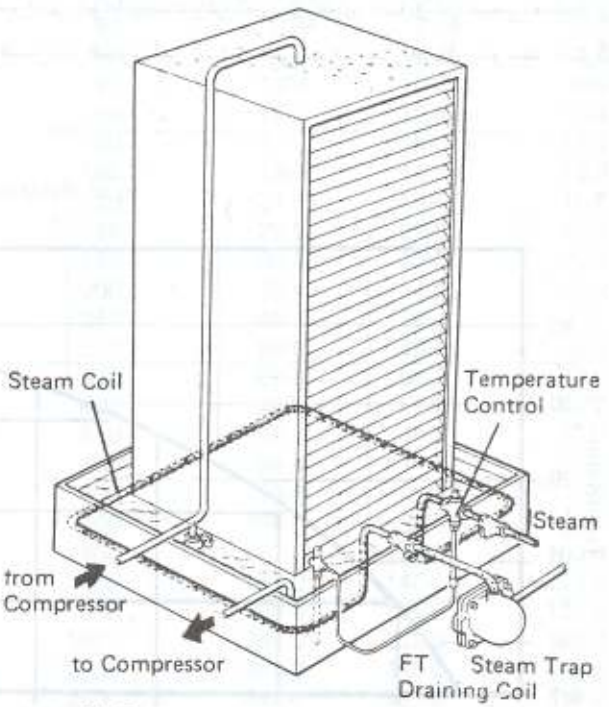


Fig 3 Temperature Control Controlling Temperature of Cooling Tower Sump

مقدار آب لازم برای خنک کردن هوا توسط افترکولر درآب خروجی از افترکولر بخارج تخلیه می‌گردد (در جاهائیکه دارای مخازن ذخیره زمینی آب هستند. این آب می‌تواند به آنها ریخته شود) در صورتیکه آب خروجی از افترکولر دور ریخته شود برای صرفه‌جوئی در مصرف آب بهتر است یک سیستم کنترل درجه حرارت آب مطابق شکل (5) در مدار نصب کرد تا هر زمان که درجه حرارت آب بعلت تبادل با هوای فشرده از حد معینی بالاتر رفت مدار باز شود و بالعکس. درجه حرارت آب خروجی از افترکولر $35\text{-}49^{oC}$ می‌باشد.

مشخصات ارائه شده توسط سازنده قید می‌گردد. در جدول (3) حدود مصرف آب برای هر 100 لیتر هوا در ثانیه و یا 100^{cfm} داده شده است. درجه حرارت هوای خروجی از افترکولر آبی حدود 10^{oC} می‌باشد.

	per 100 dm^3/s at 7 bar	*per 100 cfm at 100 psi*
Single Stage	0·15 litre/s	*1 gall/min*
Single Stage with Aftercooler	0·65 litre/s	*4 gall/min*
Two Stage	0·35 litre/s	*2 gall/min*
Two Stage with Aftercooler	0·80 litre/s	*5 gall/min*

Table 3

افترکولرهای هوائی (Air Blast After Cooler) نیز در بعضی از کمپرسورها بجای سیستم‌های آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد که در این سیستم هوای فشرده از داخل لوله‌های پره‌دار عبور می‌کند، و این لوله‌ها توسط وزنده خنک می‌گردند (شکل 6). در سیستم‌های هوائی درجه حرارت هوای فشرده خروجی از افترکولر حدود 6^{oC} (10^{oF}) بیشتر از نوع آبی میباشد. درکلیه افترکولرها برای خروج آب کندانس ایجاد شده در اثر خنک شدن هوا یک تراپ هوا باید نصب گردد (به شکل‌ها فوق‌الذکر توجه شود). در بسیاری از کمپرسورهای جدید اینترکولر و افترکولر (روغن و هوا) و کمپرسور در یک یونیت جای داده شده‌اند. برای اینکه مقدار آب ایجاد شده در هوای فشرده خروجی از کمپرسور را دردرجه حرارت مورد نظر مشخص نمائیم به مثال زیر توجه کنید (این آب باید از سیستم جدا شود)

مثال :

هوا در شرایط 20^{oC} و 70% رطوبت نسبی وارد یک کمپرسور می‌گردد، ظرفیت این کمپرسور یک متر مکعب در ثانیه می‌باشد که آنرا تحت فشار 7^{bar} و در درجه حرارت 25^{0c} (پس از سرد کردن هوا) وارد شبکه مصرف می‌نماید چه مقدار آب در هوای خروجی ایجاد می‌گردد :

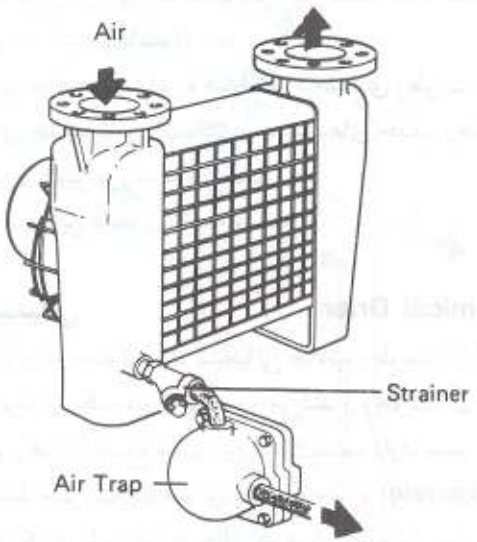


Fig 6 Air Blast Aftercooler

حل :

کمپرسور $1m^3/s$ هوا را می‌گیرد. از چارت (1) مقدار آبیکه همراه هوا وارد کمپرسور میشود عبارتست از :

$$(0.18/10)\times 70\% = \frac{0.18 \times 70}{10 \times 100} = 0.0126 \text{ kg/s}$$

(طبق چارت شکل 1) مقدار 0.18^{kg} برای 10^{m3} میباشد که برای 1^{m3} مقدار آن $\frac{0.18}{10}$ میشود

حال باید مقدار حجم هوا را پس از فشرده شدن حساب کنیم. نسبت فشرده شدن هوا در فشار 7^{bar} از جدول (1) برابر است با 7.91 و لذا حجم هوا پس از فشرده شدن برابر است با :

$$\frac{1}{7.91} \times \frac{(273 + 25)}{(273 + 20)} = 0.128 \text{ m}^3$$

از چارت شکل (1) هر $10m^3$ هوا در 25^{0c} مقدار 0.24 کیلوگرم آب می‌تواند حمل نماید لذا برای 0.128^{m3} هوا مقدار آبیکه هوا همراه دارد برابر است با :

$$0.128 \times \frac{0.24}{10} = 0.00307 \text{ kg}$$

بنابراین مقدار آبیکه از هوای فشرده باید جدا شود (چون کندانس می‌شود) برابر است با :

$$0.0126 - 0.00307 = 0.00953 \text{ kg/s}$$

(چون مقدار هوای ورودی به کمپرسور برحسب lit/s است. لذا مقدار آب نیز در ثانیه می‌باشد)

ولی در هر حال هوای فشرده همراه خود مقداری رطوبت حمل میکند که برای حذف کامل آن باید از سیستم‌های جذب رطوبت (dryer)، پس از کمپرسور استفاده نمود.

دو نوع درایر برای این منظور ساخته میشود:

1- درایر شیمیائی Chemical Drier

در این نوع درایر دو ستون مواد شیمیائی جاذب رطوبت قرارگرفته که هوای فشرده از یک ستون آن عبور می‌کند و رطوبت آن گرفته می‌شود، عبور هوا تا اشباع شدن این ستون ادامه دارد. سپس این ستون توسط حرارت یا هوای داغ ری جنره (Regenerate) می‌گردد و خشک می‌شود لذا در حالی که عمل ری جنراسیون انجام می‌شود هوای فشرده از ستون دوّم جاذب رطوبت عبور می‌کند و بهمین ترتیب یک ستون همواره در حال جذب رطوبت بوده و ستون دیگر در حال ری جنراسیون می‌باشد، کلیه مراحل بطور اتوماتیک کنترل می‌گردد. شکل (7).

2- درایر برودتی Refirgerant Drier

در این سیستم هوا از کویل برودتی عبور می‌کند و حرارت خود را دست داده، سرد می‌شود و به نقطه شبنم بین 1^{oC} تا 3^{oC} ($34 - 37^{oF}$) میرسد و لذا رطوبت موجود در آن کندانس شده و از هوا جدا می‌گردد. این سیستم مانند یک چیلر (Chiller) کوچک است. هوا پس از سرد شدن و از دست دادن رطوبت خود از یک مبدل حرارتی که در کویل آن هوای فشرده گرم ورودی عبور می‌کند و از اطراف کویل هوای فشرده سرد شده رد می‌شود گرم می‌گردد تا به درجه حرارت مورد نظر برسد و برای استفاده در شبکه مناسب باشد (شکل 7).

باید توجه کرد که اگر درایر تبریدی درجه حرارت هوای فشرده 7^{bar} را به 1.73^{oC} میرساند درجه حرارت این هوا در شرایط اتمسفر 24.4^{oC} خواهد بود.

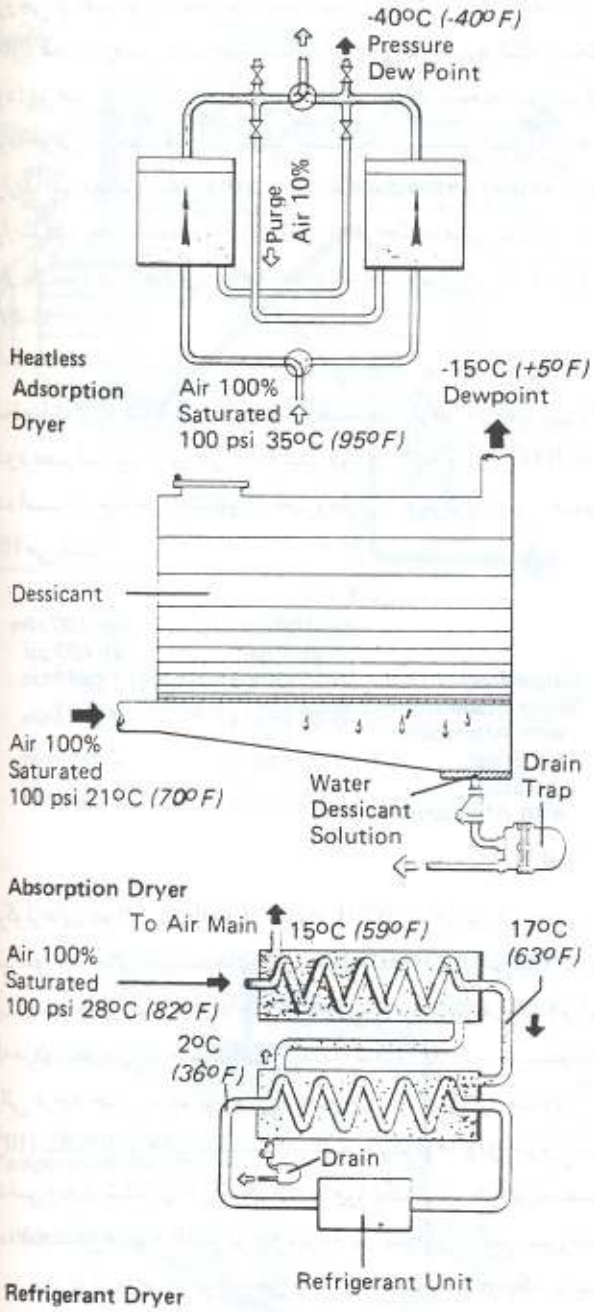


Fig 7 Dryers

5-9- مخزن هوای فشرده Receiver

مخزن هوای فشرده همیشه بعد از افترکولر (در کمپرسورهائی که افترکولر در خود دارند بعد از کمپرسور و اگر درایر در سیستم باشد بعد از درایر) نصب می‌گردد. وجود این مخزن بدلایل زیر در شبکه ضروریست:

1- ته نشین شدن آب کندانس شده در هوای فشرده (اگر درایر در سیستم نباشد) در آن.

2- ته‌نشین شدن ذرات خارجی (مثل گرد و غبار هوا - کربن دود و...) و روغن در آن (اگر کمپرسور Oil Less نباشد).

3- خنک شدن هوای فشرده در آن (اگر درایر در سیستم نباشد)

4- گرفتن پالس‌های (Puls) ناشی از کمپرسورهای پیستونی در تخلیه هوای فشرده از آنها

5- ذخیره کافی هوا برای هنگام مصرف پیک و بالانس کردن فشار در تمام نقاط شبکه

6- استراحت دادن به کمپرسور در ساعات غیر پیک و تأمین مصرف شبکه هنگام خاموش بودن کمپرسور

شکل (8) مخزن هوای فشرده و لوله‌کشی و تجهیزات روی آنرا نشان میدهد. تجهیزات آن عبارتند از شیر اطمینان (Safety Valve) برای ازدیاد فشار بیش از مقدار مجاز و فشارسنج (Pressure gauge) برای نشان دادن فشار داخل آن (فشار شبکه) و تراپ تخلیه آب (Air Trap) و صافی قبل از تراپ هوا برای حفاظت آن همچنین این مخزن باید دارای یک دریچه بازدید (Man - Hole) برای تمیز کردن و بازدید داخل آن باشد. محل نصب لوله ورودی و خروجی هوا در مخزن مطابق شکل در کمر آن می‌باشد و لوله خروجی باید کمی بالاتر از لوله ورودی نصب گردد تا آب و ذرات خارجی هوا ته نشین شود و مستقیماً به لوله خروجی نرود.

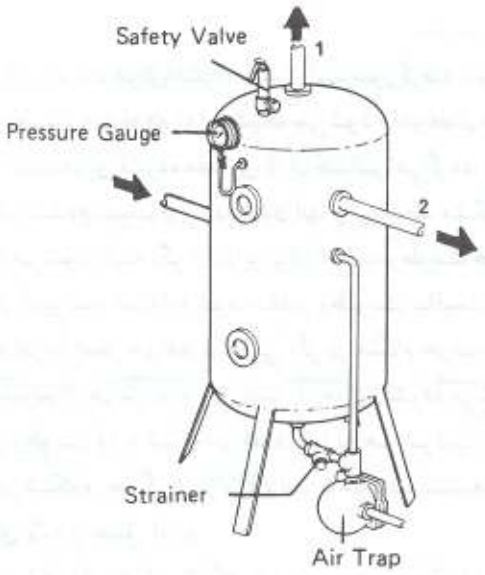


Fig 8 Typical Vertical Receiver

ظرفیت مخزن هوای فشرده Receiver

برای تعیین ظرفیت مخزن هوای فشرده فرمولهای متعددی پیشنهاد شده است، یکی از روابط مناسب بقرار زیر می‌باشد:

$$V = \frac{C}{\Delta P}$$

که در آن :

V = ظرفیت مخزن m^3

C = F.a.D مصرف کل شبکه برحسب m^3/min هوای

ΔP = bar افت فشار مجاز شبکه

در سیستم B.S رابطه بصورت زیر در می‌آید.

$$V = \frac{C \times 14.7}{\Delta P}$$

که در آن V و C برحسب Cfm و P برحسب psi می‌باشد.

مثال :

در یک شبکه حداکثر فشار لازم در یک مصرف کننده 5.5^{bar} و مقدار مصرف کل شبکه 3 متر مکعب در دقیقه می‌باشد، فشار کمپرسور برابر 7^{bar} است. ظرفیت مخزن هوای فشرده چقدر باید باشد؟

حل :

حداکثر افت فشار مجاز برابر است با :

$$\Delta P = 7 - 5.5 = 1.5$$

$$V = \frac{C}{\Delta P} = \frac{3}{1.5} = 2$$

6-9- شبکه هوای فشرده

هر چند که رطوبت هوای فشرده بعد از کمپرسور گرفته شود باز هم مقداری رطوبت همراه هوا وارد شبکه می‌شود و در طول مسیر بعلت خنک شدن هوای فشرده مقداری از آن کندانس می‌گردد. ورود آب به مصرف کننده‌ها سبب فرسوده شدن آنها و نیز ایجاد مشکلاتی دیگر در آنها می‌شود. البته اگر از درایر برای جذب رطوبت هوای فشرده بعد از کمپرسور استفاده شود مقدار رطوبت باقیمانده در هوای فشرده تقریباً صفر خواهد بود ولی اگر در هنگام خراب شدن درایر ناچار شویم از طریق لوله بای پاس از هوای فشرده در شبکه استفاده کنیم رطوبت وارد شبکه می‌شود. لذا به هر ترتیب برای اطمینان از کار شبکه و جلوگیری از ورود آب به مصرف کننده‌ها باید پیش‌بینی‌های لازم را بعمل آورد.

لوله‌کشی لوله‌های اصلی شبکه باید بصورت رینگ (Ring) باشد تا فشار در تمام شبکه متعادل گردد (چون مصرف هوا از یک مصرف کننده به مقدار زیاد سبب افت فشار زیاد در لوله‌های اصلی می‌شود) و کلیه شبکه باید دارای شیبی بمقدار 2.5/1000 باشد، این شیب می‌تواند بطرف مصرف کننده‌ها باشد تا آب موجود در شبکه توسط تراپ‌های روی لوله آبگیر (Drain Point) که باید در هر 30 الی 100 متر (برحسب وضعیت شبکه و وجود یا عدم وجود درایر) نصب شود، تخلیه گردد (شکل 9) البته چون در لوله‌کشی‌های دیگر در یک واحد صنعتی مثل بخار و کندانس و آب شیب بطرف موتورخانه داده می‌شود (به فصل بخار و کندانس مراجعه شود) لذا برای حفظ آرایش ساپورت‌ها و نظم در لوله‌کشی‌ها می‌توان شیب شبکه هوای فشرده را نیز بطرف موتورخانه داد (شیب کلیه شبکه‌ها باید یکسان باشد) و درعمل تفاوت چندانی در نتیجه کار بوجود نمی‌آید. نصب تراپ‌های آبگیر و نیز انشعاب لوله آبگیر از شبکه اصلی باید مطابق شکل (9) انجام شود، گرفتن انشعاب از لوله اصلی برای مصرف کننده‌ها باید از بالا و روی لوله مطابق شکل (9) انجام گیرد تا آب نتواند وارد آن شود، البته نصب تراپ آبگیر در هر انشعاب بصورتیکه شکل نشان داده فقط برای ابزارهای مصرف کننده هوا (Air Guns) مناسب است و برای ماشین‌آلات در خود ماشین و یا نزدیک به آن مجموعه فیلتر آب و روغن زن باید نصب گردد (بعداً توضیح داده می‌شود) و به هر حال اگر در شبکه از درایر استفاده شود، نصب تراپ آبگیر در انشعاب لزومی ندارد و نیز لوله‌های آبگیر (Drain Point) در هر 100 متر کافیست.

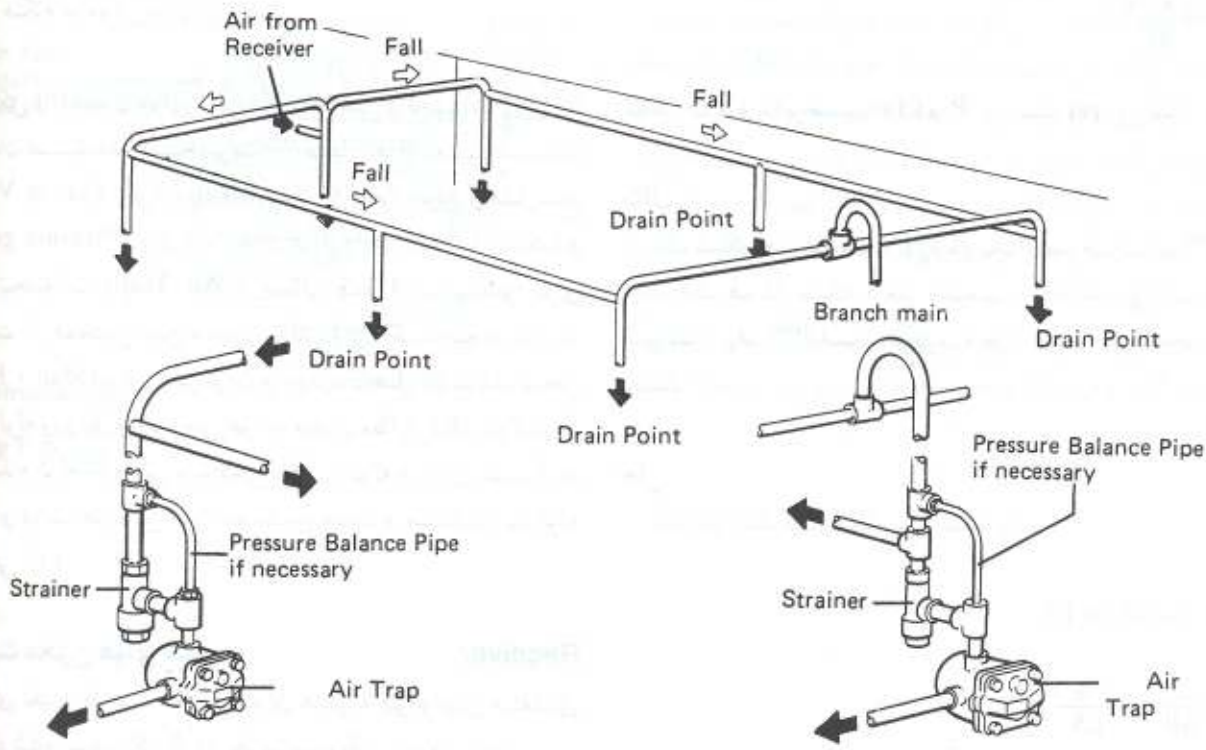


Fig 9 Air Trap Draining a Relay Point

Air Trap Draining a Branch Main

نصب شیرآلات و تجهیزات روی لوله هوای فشرده

آب جداکن Separator

آب براحتی از هوای فشرده جدا نمی‌شود و لذا برای اینکه در محل آبگیرها بتوان مقدار بیشتری آب را از هوا جداکرد باید یک آب جداکن قبل از هر لوله تخلیه (Drain Pipe) نصب نمود (شکل 10)

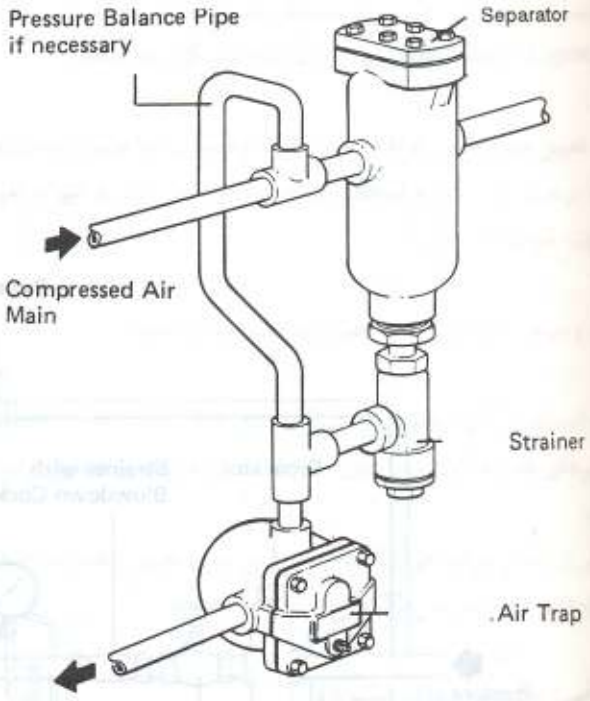


Fig 10 Separator on Air Main

فشارسنج Pressure Gauge

در ابتدای هر خط اصلی هوای فشرده که وارد یک قسمت می‌شود باید یک فشارسنج نصب کرد تا عبور هوا مشهود باشد. (شکل 11)

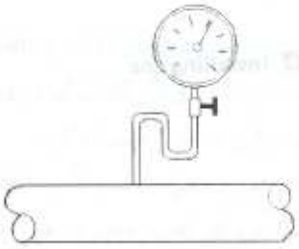


Fig 11

فشارشکن Pressure reducing valve

گاه در بعضی از قسمت‌ها فشار هوای فشرده کمتر از فشار آن در شبکه می‌باشد، لذا برای کاهش فشار باید مجموعه فشارشکن نصب کرد، شکل (12) لوله‌کشی و تجهیزات مجموعه فشارشکن رانشان میدهد.

البته در روی ورودی مصرف کننده‌هائی که فشارکار آنها کمتر از فشار شبکه است باید یک رگولاتور Regulator نصب نمود که همیشه قبل از آن یک فیلتر (برای جداکردن مواد زائد و حفاظت رگولانور) و در صورت لزوم بعد از آن یک روغن‌زن (Lubricator) باید نصب کرد. (شکل 13)

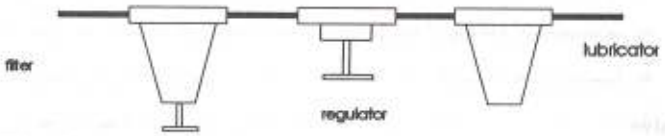


Fig 13

شیرهای جداکننده Valve

روی هر انشعاب اصلی به یک بخش و نیز در ابتدای رینگ اصلی در دو نقطه ابتدای رینگ، باید یک شیر جداکننده (شیر هوای فشرده) برای جداکردن هر بخش در مواقع تعمیر نصب نمود.

صافی Strainer

قبل از شیرهای کنترل (Control Valve) که با هوای فشرده کار می‌کنند و شیرهای فشارشکن (P.R.V) و تراپ‌های هوای فشرده (Air Trap) باید صافی نصب نمود تا مانع ورود مواد زائد به آنها شود و از معیوب شدن آنها جلوگیری گردد.

این صافی‌ها در دو نوع ساخته می‌شوند یکی مناسب نصب در خط لوله و دیگری مناسب نصب در محل زانو می‌باشد.

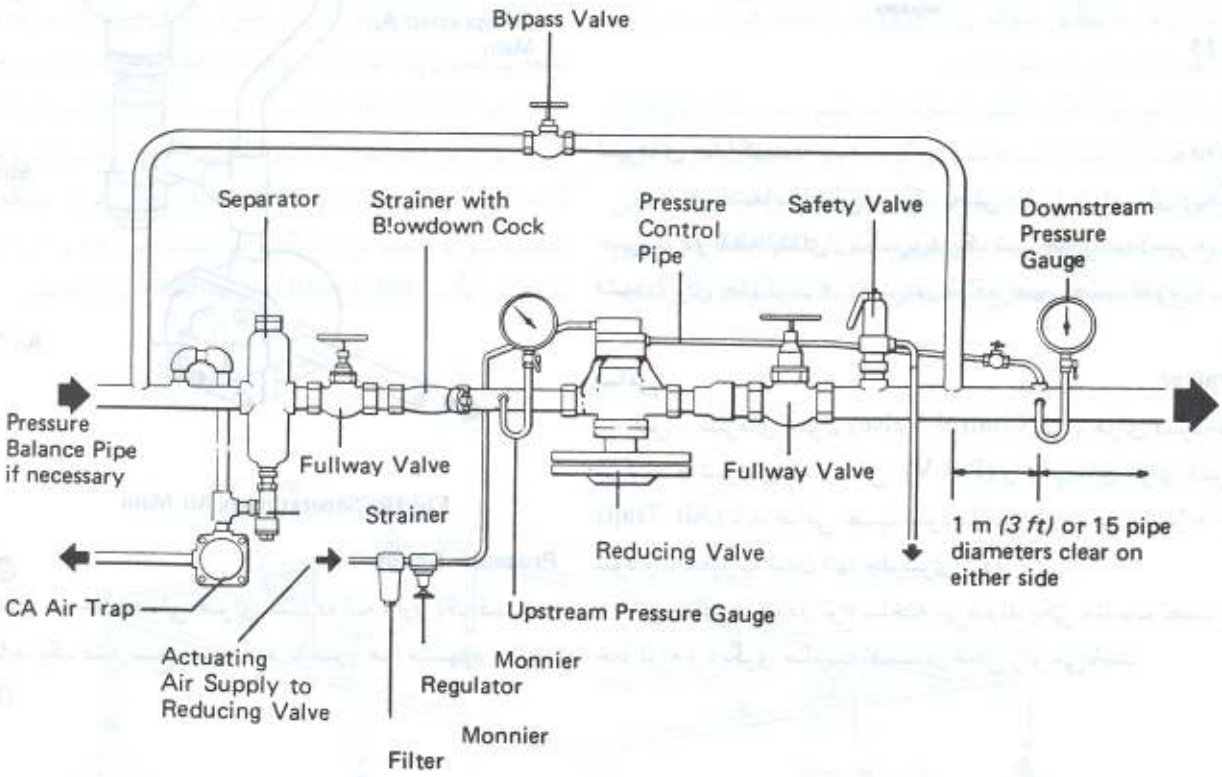


Fig 12 Installing the Reducing Valve

۹-۷- برآورد مصرف Air Consumption

قبل از برآورد مصرف لازم است یک نقشه مقدماتی برای شبکه هوای فشرده بشرح زیر تهیه گردد:

1- تعیین مصرف کننده‌ها اعم از ماشین‌الات، ابزارآلات و غیره روی نقشه سالن مورد نظر که آرایش ماشین‌آلات (Machinery Layout) نیز در آن مشخص گردیده است.

2- تعیین مسیر عبور لوله‌ها با توجه به وضعیت ساختمان و موانعی که در مسیر قرار دارد و اسکلت ساختمان و محل دفتر و غیر و تعیین جهت شیب لوله‌ها.

3- ترسیم مسیر لوله‌ها و اتصال به مصرف کننده‌ها

4- اضافه کردن تجهیزات شبکه مثل آبگیرها (Drain Point) شیرهای فشارشکن، شیرهای جداکننده در هر مسیر اصلی و نظایر آنها.

پس از انجام موارد فوق نقشه مقدماتی برای تعیین مصارف و قطر لوله‌ها در دسترس می‌باشد.

برآورد مصرف هوای فشرده

برای ماشین‌آلاتی که هوای فشرده مصرف می‌کنند باید از کمپانی‌های سازنده موارد زیر استعلام گردد:

1- مقدار مصرف هوای فشرده برحسب F.a.d

2- قطر لوله انشعاب هوای فشرده ماشین

3- فشار لازم برای هوای فشرده مورد نیاز ماشین

4- نقشه شماتیک ماشین که محل انشعابات را نشان داده است.

برای برآورد مصرف ابزار آلات (Air Guns) می‌توان از کاتالوگ سازنده استفاده نمود و اگر کاتالوگ در دسترس نباشد از جدول (4) می‌توان برای این منظور استفاده کرد.

مصرف هوای فشرده معمولاً به F.a.d (Free Air Delivery) داده می‌شود و برای تعیین مصرف هوا در فشار مورد نظر باید مقدار F.a.d را به ضریب نسبت فشرده شدن هوا (ضریب تراکم) تقسیم نمود، جدول (1) مقادیر ضریب تراکم را برای فشارهای مختلف نشان میدهد.

مثال:

در یک کمپرسور مقدار 190^{lit} هوای F.a.d در فشار 8^{bar} فشرده می‌شود حجم این هوا را پس از فشرده شدن معین کنید:

حل:

از جدول (1) ضریب تراکم در فشار 8^{bar} برابر 8.9 می‌شود لذا:

$$V = \frac{C}{R} = \frac{190}{8.9} = 21.35^{lit}$$

جدول (2) مقادیر هوای F.a.d را در فشارهای رایج نشان میدهد.

پس از مشخص شدن مقدار مصرف کلیه مصرف کننده‌ها مقادیر مربوط به هر یک را روی آن مصرف کننده در نقشه مقدماتی می‌نویسم، این مقادیر را می‌توان ابتدا به مقدار آنهادر فشار مربوط به هر قسمت یا هر مصرف کننده تبدیل نمود و سپس روی هر مصرف کننده نوشت و نیز مقداری که هر خط فرعی و نهایتاً خطوط اصلی باید تأمین کنند روی خطوط مربوطه نوشت، و به همین شکل تا به ابتدای خط ادامه دارد که مصرف کل نیز مشخص خواهد شد.

در نتیجه، نقشه مقدماتی با ذکر مصارف در کلیه نقاط را در اختیار داریم که برای محاسبه قطر لوله‌ها آماده می‌باشد.

همچنین می‌توان مقادیر مصرف هر مصرف کننده و خطوط فرعی و اصلی را برحسب F.a.d نوشت و تبدیل نکرد که از روش دیگری می‌توان قطر لوله‌ها را محاسبه نمود (در قسمت 8-9 توضیح داده می‌شود)

Table 4 Metric Units Typical Air Consumption of Pneumatic Tools and Appliances at 5·5 bar

		dm^3/s of free air at 5·5 bar
Drills	7 mm	4·7– 7·5
	10 mm	7·1– 9·4
	13 mm	11·8–14·1
	25 mm	28·3–37·7
	50 mm	37·7–56·6
	75 mm	47·2–61·4
Grinders for mounted points		4·7–11·8
For arbor mounted wheels	50 mm dia	9·4–11·8
Grinders up to	150 mm dia	23·6–28·3
Sanders and Polishers		4·7–21·1
Torque Wrench for nuts up to	7 mm	4·7– 7·1
	13 mm	11·8–16·5
	25 mm	18·9 –26·0
	38 mm	23·6 –33·0
Screwdrivers		3·3 –11·8
Nut Runners		4·7 –14·1
Spray Guns (at 3·4 bar)	Small	0·47– 2·4
	Medium	2·4 – 5·7
	Large	5·7 –11·8
Blow Guns		2·4
Air Motors up to		
1 BHP (746 W)		14·1–16·5 per BHP (746 W)
1 to 5 BHP (746–3730 W)		14·1 per BHP (746 W)
over 5 BHP (3730 W)		11·8 per BHP (746 W)

Table 4 Imperial Units Typical Air Consumption of Pneumatic Tools and Appliances at 80 psi

		cfm of free air at 80 psi
Drills	¼"	10– 16
	⅜"	15– 20
	½"	25– 30
	1"	60– 80
	2"	80–120
	3"	100–130
Grinders for mounted points		10– 25
For arbor mounted wheels	2" dia	20– 25
Grinders up to	6" dia	50– 60
Sanders and Polishers		10– 45
Torque Wrenches for nuts up to	¼"	10– 15
	½"	25– 35
	1"	40–55
	1½"	50–70
Screwdrivers		7–25
Nut Runners		10–30
Spray Guns (at 50 psi)	Small	1– 5
	Medium	5–12
	Large	12–25
Blow Guns		5
Air Motors up to		
1 BHP		30–35 per BHP
1 to 5 BHP		30 per BHP
over 5 BHP		25 per BHP

8-9- محاسبه قطر لوله‌کشی هوای فشرده
Pipe Sizing

قطر لوله‌های اصلی هوای فشرده باید باندازه‌ای باشد که شبکه در شرایط مناسبی کار کند. کم بودن قطر لوله سبب ایجاد افت فشار زیاد و نیز سبب افزایش سرعت هوا می‌گردد که جدا شدن آب از آن را مشکل می‌کند زیرا آب کنداس ایجاد شده در کف لوله را با خود برده و مجدداً در خود پخش می‌کند.

سرعت مناسب برای هوا در لوله‌های اصلی $6\text{-}9^{m/s}$ $(20\text{-}30^{fps})$ می‌باشد که افت فشار در حد مناسب و کلیه موارد در شرایط مطلوب خواهند بود (مثل جدا شدن آب از هوا). قطر لوله‌های اصلی که بصورت رینگ می‌باشند باید با توجه به توسعه آینده تعیین گردد.

برای تعیین قطر لوله‌های اصلی با داشتن مقادیر مصرف در فشار آن خط از جدول (5) استفاده می‌کنیم.

مثال:

در یک لوله اصلی 100 لیتر در ثانیه هوا در فشار 7^{bar} عبور می‌نماید قطر لوله را محاسبه نمائید:

حل:

از جدول (1) ضریب تراکم هوا را در فشار 7^{bar} پیدا می‌کنیم که برابر 7.91 می‌باشد. حجم هوا در این فشار برابر است با:

$$V_2 = \frac{V_1}{R} = \frac{100}{7.91} = 12.64^{lit/sec}$$

می‌توان این مقدار را مستقیماً از جدول (2) در ستون فشار 7^{bar} بدست آورد.

سرعت مورد نظر $6^{m/s}$ می‌باشد (مقدار این سرعت بستگی به نظر طراح دارد که باید بین $6\text{-}9^{m/s}$ باشد) از جدول (5) در ردیف سرعت $6^{m/s}$ نزدیکترین عدد به 12.64 برابر 13 می‌باشد که قطر لوله برابر 50^{mm} (2") می‌شود.

برای مسیرهای طولانی که قطر آنها براساس سرعت ثابت محاسبه می‌گردد ممکنست افت فشار از حد مناسب بالاتر برود (حدود 1^{psi} درصد فوت $2.5^{mbar/m}$) که باید کنترل گردد، برای محاسبه افت فشار می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$\Delta P = \frac{KLV^2}{R \times d^{5.3}}$$

که در آن:

ΔP = افت فشار برحسب (میلی‌بار بر متر) mbar/m

$K = 800$

$L = m$ طول کل مسیر (طول لوله + طول معادل اتصالات)

$V = lit/sec$ حجم هوائی که لوله حمل می‌کند (F.a.d) برحسب

$d = mm$ قطر لوله برحسب میلیمتر

این رابطه در سیستم B.S بصورت زیر در می‌آید:

$$\Delta P = \frac{LV^2}{R \times d^{5.3} \times 35122}$$

که در آن:

ΔP = افت فشار لوله برحسب psi

$V = Cfm$ حجم هوائی که لوله حمل می‌کند برحسب

$L = ft$ طول کل لوله برحسب

$R =$ نسبت تراکم هوا در فشار ابتدای خط

$d =$ قطر لوله برحسب اینچ

برای محاسبه طول معادل اتصالات می‌توان از جدول (6) استفاده نمود.

همچنین می‌توان افت فشار لوله را بدون محاسبه از چارت شکل (14) بدست آورد که روش ساده‌تری می‌باشد. در ضمن می‌توان با روش افت فشار ثابت از همان چارت قطر لوله را بدست آورد.

مثال:

قطر لوله را برای عبور 300 لیتر در ثانیه هوای (F.a.d) در فشار 9^{bar} محاسبه نمائید افت فشار کل نباید از 300^{mbar} در طول مسیر که 125 متر می‌باشد بیشتر شود.

حل:

افت فشار در واحد طول لوله برابر است با:

$300 : 125 = 2.4^{mbar/m}$

روی خط فشار از نقطه 9^{bar} به خط افت فشار در نقطه $2.4^{mbar/m}$ وصل می‌کنیم و ادامه میدهیم تا خط Refrence را در نقطه X قطع کند سپس نقطه X را به نقطه مصرف $300^{lit/s}$ روی خط مصرف وصل می‌کنیم و ادامه میدهیم تا خط قطر را در نقطه‌ای قطع کند، این نقطه برابر 61 میلیمتر می‌باشد که نزدیکترین عدد استاندارد در بالای آن 65^{mm} (3") می‌باشد (قطر داخلی لوله 65^{mm} در واقع 69^{mm} می‌باشد لذا روی خط قطرمحل آنرا بالاتر از محل 65^{mm} قرار داده‌اند)

همانطور که ملاحظه نمودید برای محاسبه قطر لوله به روش افت فشار ثابت و استفاده از چارت (14) مقادیر مصرف برحسب F.a.d بودند لذا در این روش می‌توان در نقشه مقدماتی کلیه مصارف را برحسب F.a.d نوشت و نیازی به تبدیل در فشار مربوطه نخواهد بود. بنابراین اگر از روش سرعت ثابت استفاده نمودیم چارت (14) برای کنترل افت فشار بکار میرود و اگر از روش افت فشار ثابت استفاده نمائیم چارت (14) برای محاسبه قطر لوله بکار می‌رود.

برای محاسبه قطر انشعابات می‌توان سرعت را بیشتر در نظر گرفت و تا $15^{m/s}$ مجاز می‌باشد.

همچنین برای استفاده از روش افت فشار ثابت برای انشعابات می‌توان افت فشار را تا $3.5^{mbar/m}$ در نظر گرفت.

محاسبه قطر لوله‌های باریک برای مصرف‌کننده‌های هوای فشرده

برای تعیین قطر لوله‌های باریک (کمتر از 3/4") به سیلندرهای هوائی (مثل سروموتور و جک و ...) و شیرهای نیوماتیکی (شیرهای دیافراگمی که با هوای فشرده باز و بسته می‌شوند) و ابزار آلات (مثل دریل، آچار و قلاویز و غیره) می‌توان سرعت را $(60\text{-}80^{fps})$ $18\text{-}24^{m/s}$ در فشار $5.5\text{-}7^{bar}$ $(80\text{-}100^{psi})$ در نظر گرفت زیرا سرعت زیاد در این لوله‌ها مسئله‌ای نیست چون طول این لوله‌ها کوتاه است و افت فشار چندان قابل توجه نیست. البته اگر فشار کار کمتر از 5.5^{bar} باشد بهتر است از سرعت‌های کمتری برای محاسبه استفاده کرد.

چارت شکل (15) برای تعیین قطر این لوله‌ها بکار می‌رود. این چارت برای لوله‌های نایلونی (Nylon - Tube) و لوله‌های مسی (Copper Tube) و لوله‌های فولادی سبک (Medium Wieght Steel Tube) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مثال:

در یک کارخانه تعدادی از ماشین‌آلات هوای فشرده مصرف می‌نمایند که مقدار مصرف برحسب F.a.d و فشار کار آنها و همچنین آرایش ماشین‌آلات در شکل (16) داده شده است، شبکه هوای فشرده را طراحی نمائید.

حل:

در نقشه آرایش ماشین آلات مسیر لوله‌کشی را با توجه به محل کمپرسورخانه و تعدادی شیر برای تمیز کردن ماشین‌آلات ترسیم می‌نمائیم (شکل 17).

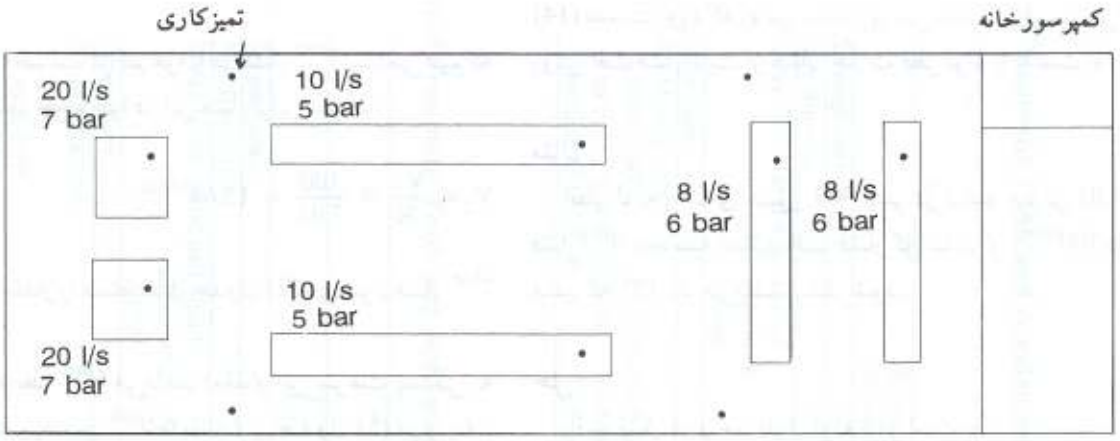


Fig 16

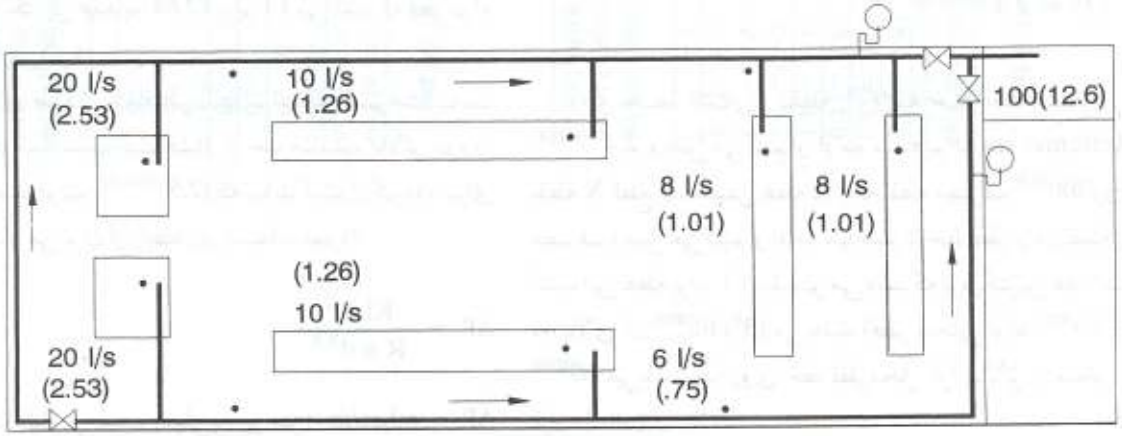


Fig 17

در دور تا دور سالن یک رینگ هوای فشرده قرار میدهیم و محل انشعاب ماشین‌آلات را به رینگ متصل مینمائیم تعداد سه عدد شیر جداکننده (شیرهای فشرده) در سه محل در نظر می‌گیریم که دو عدد در ابتدای هر مسیر در خروج از کمپرسورخانه و یک عدد هم در گوشه مقابل، در نتیجه رینگ را به دو قسمت کرده‌ایم که هر زمان یک قسمت را بدلیل تعمیرات از مدار خارج کنیم قسمت دیگر در حال بهره‌برداری باقی می‌ماند. همچنین دو عدد تراپ آبگیر و دو عدد فشارسنج در ابتدای هر مسیر در نظر می‌گیریم.

شیب لوله‌ها را بطرف موتورخانه در نظرگرفته‌ایم. فشار کار ماشین‌ها متفاوت می‌باشند و بیشترین آنها 7^{bar} است و لذا این فشار را به معنای فشار شبکه در نظر می‌گیریم و برای بقیه مصرف‌کننده‌ها رگولاتور نصب می‌کنیم، بنابراین تمام لوله‌های اصلی و انشعابات را تا محل اتصال به رگولاتور ماشین‌ها، که جنب بدنهٔ ماشین نصب می‌شود، بر مبنای فشار 7^{bar} محاسبه می‌نمائیم و پس از تعیین قطر لوله‌ها براساس سرعت ثابت (سرعت را $7^{m/s}$ انتخاب می‌کنیم) و محاسبه افت فشار می‌توانیم فشار کار کمپرسور را مشخص نمائیم. ابتدا بار هر مصرف کننده و هر لوله را در فشار 7^{bar} روی آن می‌نویسم و چون لوله‌های اصلی بصورت رینگ می‌باشند لذا فرض می‌کنیم که کلیه بار در روی تمام رینگ می‌باشد. (بار هر شیر تمیز کن (Spray gun) از جدول (4) در مصرف زیاد برابر $6^{Lit/s}$ درنظر می‌گیریم)

از جدول (1) ضریب متراکم در فشار 7^{bar} برابر است با 7.91 و لذا مصارف بصورت زیر می‌شوند، و قطر لوله انشعاب به آنها در سرعت $7^{m/s}$ از جدول (5) بدست می‌آید :

قطر لوله		در فشار 7^{bar}	F.a.d
اینچ	mm		
3/4″	20	2.53	20
1/2″	15	1.26	10
1/2″	15	1.01	8
1/2″	15	0.75	6

قطر لوله رینگ با توجه به کل مصرف :

$$2.53 + 2.53 + 1.26 + 1.01 + 1.01 + 4 \times 0.75 = 12.6 \ ^{Lit/s}$$

از جدول (6) برابر می‌شود با 2″ (50^{mm})، شکل (18)

افت فشار شبکه را می‌توان بکمک چارت (14) تعیین نمود (فشار کار شبکه 7^{bar} می‌باشد).

F.a.d	قطر لوله		افت	طول لوله	افت
	mm	اینچ	mbar/m	mm	کل
20	20	317″	4.5	6	27
10	15	$\frac{1}{2}$″	5.5	6	33
8	15	$\frac{1}{2}$″	5.5	4	22
6	15	$\frac{1}{2}$″	5.5	30	16.5
100	50	2″	1	130	130

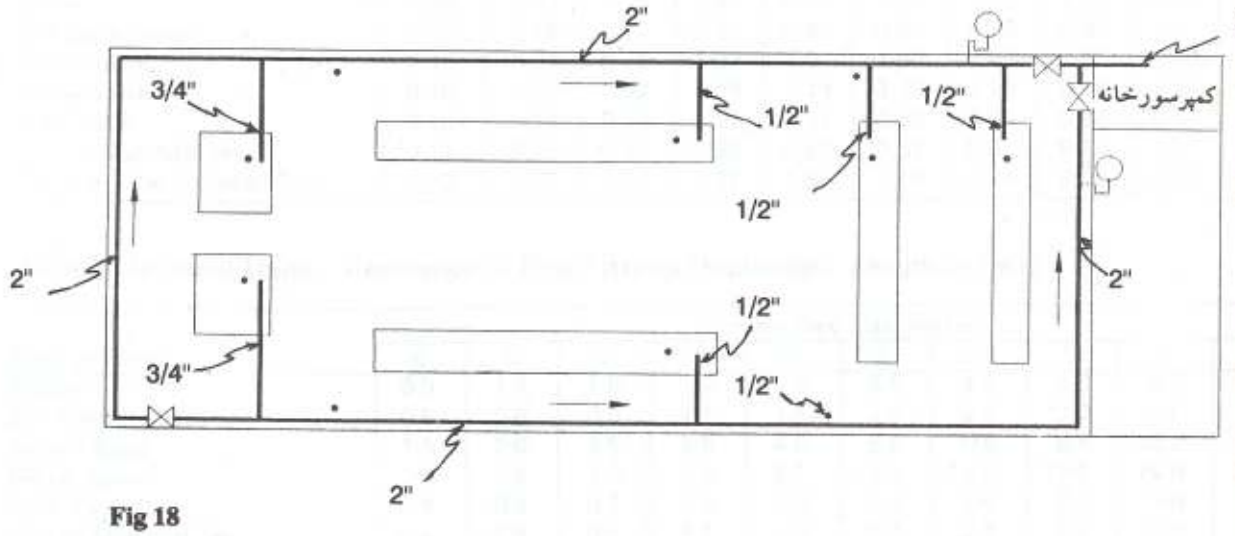


Fig 18

ابتدا قطر لوله هر قسمت را روی خط قطر مشخص می‌کنیم، سپس مصرف را روی خط مصرف مشخص می‌نمائیم و دو نقطه را بهم وصل می‌کنیم تا خط R را در نقطه X قطع کنند و سپس X را به نقطه فشار کار (7^{bar}) وصل می‌نمائیم، محل تلاقی این خط با خط افت فشار، مقدار افت فشار را در این لوله نشان میدهد در اینجا برای مصارف کمتر از 10 (F.a.d) افت فشار، برابر همان افت در مصرف 10 می‌شوند. همچنین افت فشار مربوط به مصرف 100 در زیر 1قرار می‌گیرد که همان 1 در نظر می‌گیریم و لذا افت فشار کل شبکه با توجه به طول لوله‌ها (طول لوله‌ها براساس مقیاس نقشه باید اندازه‌گیری شود و در اینجا فرض شده که طول لوله‌ها برابر مقادیر داده شده در جدول بالا است).

لذا افت فشار کل برابر می‌شود با:

228.5^{mbar} و یا $228.5:1000=0.23^{bar}$ در نتیجه افت فشار کل شبکه برابر 0.23^{bar} می‌شود و لذا فشار ابتدای خط باید برابر 7.23^{bar} $7 + 0.23 =$ باشد و با توجه به ضرب اطمینان کمی برابر میشود با 7.5^{bar} و لذا در عمل ممکنست فشار کار ماشین که 7^{bar} می‌باشد کمی بیشتر از آن شود که معمولاً ایرادی ندارد و اگر فشار کل آن باید حتماً همان 7^{bar} باشد باید رگولاتور در آن نصب نمود.

لوله‌ها براساس فشار 7^{bar} محاسبه شده‌اند در حالیکه فشار در ابتدای خط 7.5^{bar} می‌باشد و عملاً سرعت کمی افزایش می‌یابد ولی هرگز از حد بالای مجاز بیشتر نمی‌شود و در نتیجه سیستم متعادل خواهد شد.

Table 5 SI Metric Units Volume of Compressed Air Carried by Medium Grade Steel Pipes, of Minimum Bore, to BS 1387, at Given Velocities

Velocity	Volume of air through medium grade steel pipe, to BS 1387, minimum bore											
m/s	15 mm	20 mm	25 mm	32 mm	40 mm	50 mm	65 mm	80 mm	100 mm	125 mm	150 mm	200 mm
3·0	0·6	1·1	1·7	3·0	4·1	6·5	10·9	15·1	25·7	39·2	56·2	98·5
3·5	0·7	1·3	2·0	3·5	4·7	7·6	12·7	17·6	30·0	45·7	65·5	115·0
4·0	0·8	1·4	2·3	4·0	5·4	8·7	14·6	20·1	34·2	52·2	74·9	131·0
4·5	0·9	1·6	2·6	4·5	6·1	9·8	16·4	22·6	38·5	58·8	84·2	147·0
5·0	1·0	1·8	2·8	5·0	6·8	10·8	18·2	25·1	42·8	65·4	93·6	164·0
5·5	1·1	2·0	3·1	5·5	7·4	11·9	20·0	27·6	47·1	71·9	103·0	181·0
6·0	1·2	2·1	3·4	6·0	8·1	13·0	21·8	30·1	51·3	78·5	112·0	197·0
6·5	1·3	2·3	3·7	6·5	8·8	14·1	23·7	32·6	55·6	85·0	122·0	213·0
7·0	1·4	2·5	4·0	7·0	9·5	15·1	25·5	35·1	59·9	91·5	131·0	230·0
7·5	1·5	2·7	4·3	7·5	10·1	16·2	27·3	37·6	64·2	98·0	140·0	246·0
8·0	1·6	2·8	4·5	8·0	10·8	17·3	29·1	40·1	68·5	105·0	150·0	263·0
8·5	1·7	3·0	4·8	8·5	11·5	18·4	31·0	42·6	72·8	111·0	159·0	278·0
9·0	1·8	3·2	5·1	9·0	12·2	19·5	32·8	45·1	77·1	118·0	169·0	296·0

Table 5 Imperial Units Volume of Compressed Air Carried by Medium Grade Steel Pipes, of Minimum Bore, to BS 1387, at Given Velocities

Velocity	Volume of air through medium grade steel pipe, to BS 1387, minimum bore											
ft/sec	½"	¾"	1"	1¼"	1½"	2"	2½"	3"	4"	5"	6"	8"
10	1·3	2·3	3·6	6·4	8·7	14	23	32	55	84	121	211
12	1·5	2·8	4·4	7·7	10·0	16	28	39	66	101	145	254
14	1·8	3·2	5·1	8·9	12·0	19	33	45	77	118	169	296
16	2·0	3·7	5·9	10·3	14·0	22	38	52	88	135	193	339
18	2·3	4·1	6·6	11·6	16·0	25	42	58	99	152	217	381
20	2·5	4·6	7·3	12·8	17·0	28	47	65	110	168	242	423
22	2·8	5·1	8·1	14·1	19·0	31	52	71	121	185	266	466
24	3·0	5·5	8·8	15·4	21·0	34	56	78	132	202	290	508
26	3·3	5·9	9·6	16·7	23·0	36	61	84	144	219	314	551
28	3·5	6·4	10·3	17·9	24·0	39	66	91	154	236	338	593
30	3·8	6·9	11·0	19·3	26·0	42	71	97	166	253	362	635

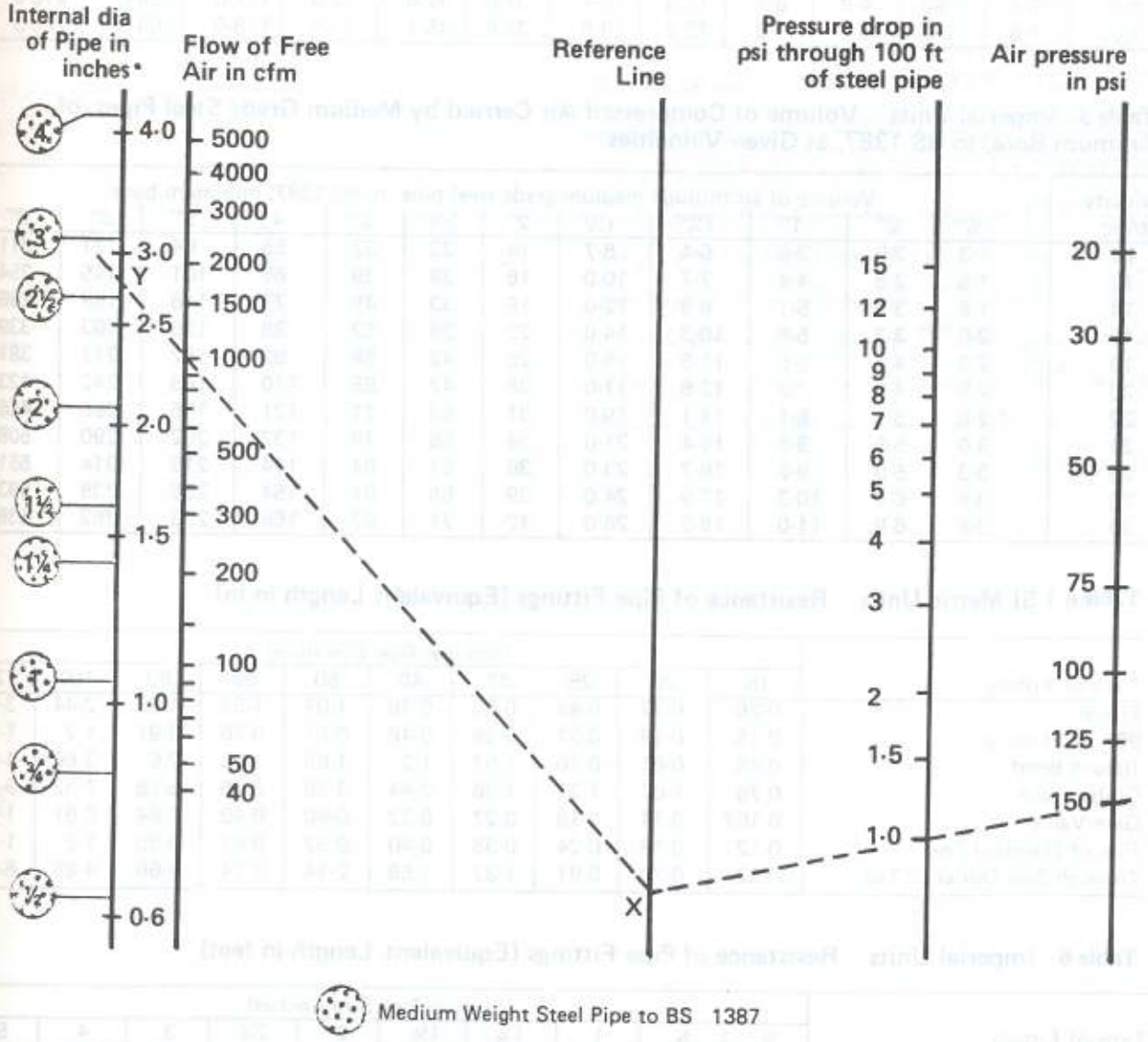
Table 6 1 SI Metric Units Resistance of Pipe Fittings (Equivalent Length in m)

Type of Fitting	Nominal Pipe Size (mm)									
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125
Elbow	0·26	0·37	0·49	0·67	0·76	1·07	1·37	1·83	2·44	3·2
90° Bend (long)	0·15	0·18	0·24	0·38	0·46	0·61	0·76	0·91	1·2	1·52
Return Bend	0·46	0·61	0·76	1·07	1·2	1·68	1·98	2·6	3·66	4·88
Globe Valve	0·76	1·07	1·37	1·98	2·44	3·36	3·96	5·18	7·32	9·45
Gate Valve	0·107	0·14	0·18	0·27	0·32	0·40	0·49	0·64	0·91	1·20
Run of Standard Tee	0·12	0·18	0·24	0·38	0·40	0·52	0·67	0·85	1·2	1·52
Through Side Outlet of Tee	0·52	0·70	0·91	1·37	1·58	2·14	2·74	3·66	4·88	6·40

Table 6 Imperial Units Resistance of Pipe Fittings (Equivalent Length in feet)

Type of Fitting	Nominal Pipe Size (inches)									
	½	¾	1	1¼	1½	2	2½	3	4	5
Elbow	0·9	1·2	1·6	2·2	2·5	3·5	4·5	6·0	8·0	10·5
90° Bend (long)	0·5	0·6	0·8	1·1	1·5	2·0	2·5	3·0	4·0	5·0
Return Bend	1·5	2·0	2·5	3·5	4·0	5·5	6·5	8·5	12·0	16·0
Globe Valve	2·5	3·5	4·5	6·5	8·0	11·0	13·0	17·0	24·0	31·0
Gate Valve	0·4	0·5	0·6	0·9	1·0	1·3	1·6	2·1	3·0	4·0
Run of Standard Tee	0·4	0·6	0·8	1·1	1·3	1·7	2·2	2·2	2·8	5·0
Through Side Outlet of Tee	1·7	2·3	3·0	4·5	5·2	7·0	9·0	12·0	16·0	21·0

Fig 14 Imperial Units Pressure Drop in Steel Pipes (½" to 4")



Medium Weight Steel Pipe to BS 1387

Fig 14 SI Metric Units Pressure Drop in Steel Pipes (15 mm to 100 mm)

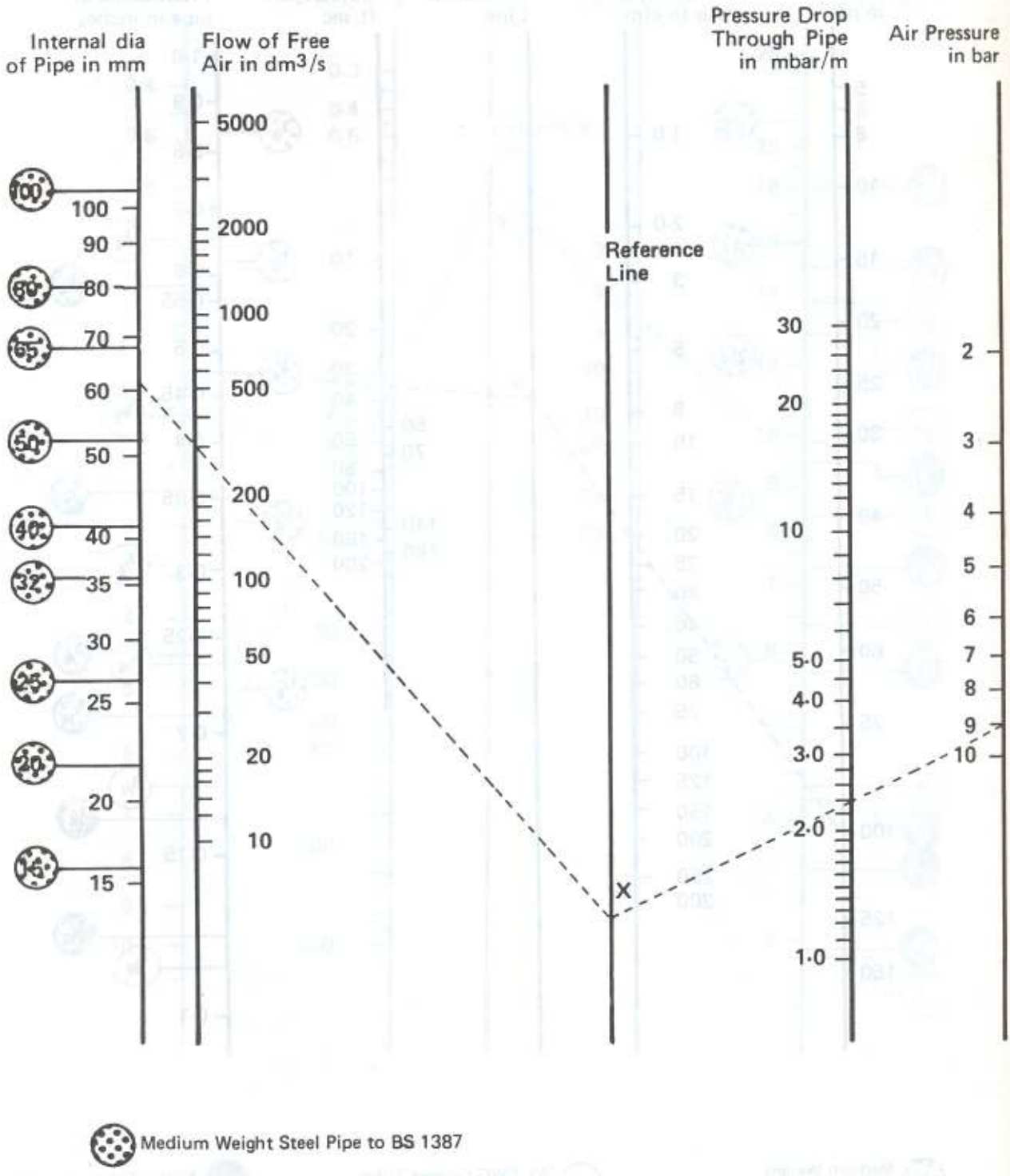


Fig 15 Imperial Units Pipe Carrying Capacities at Varying Velocities

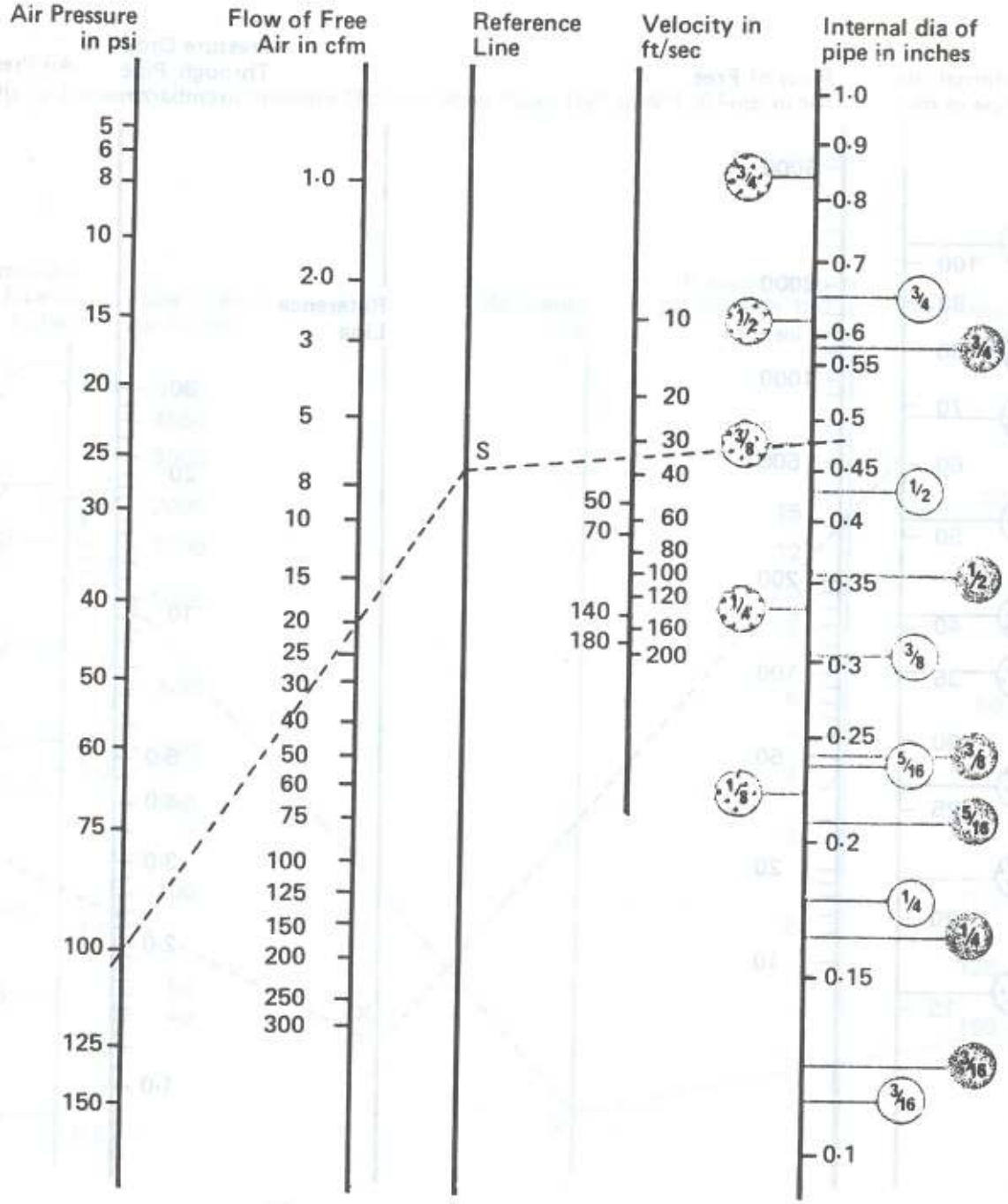
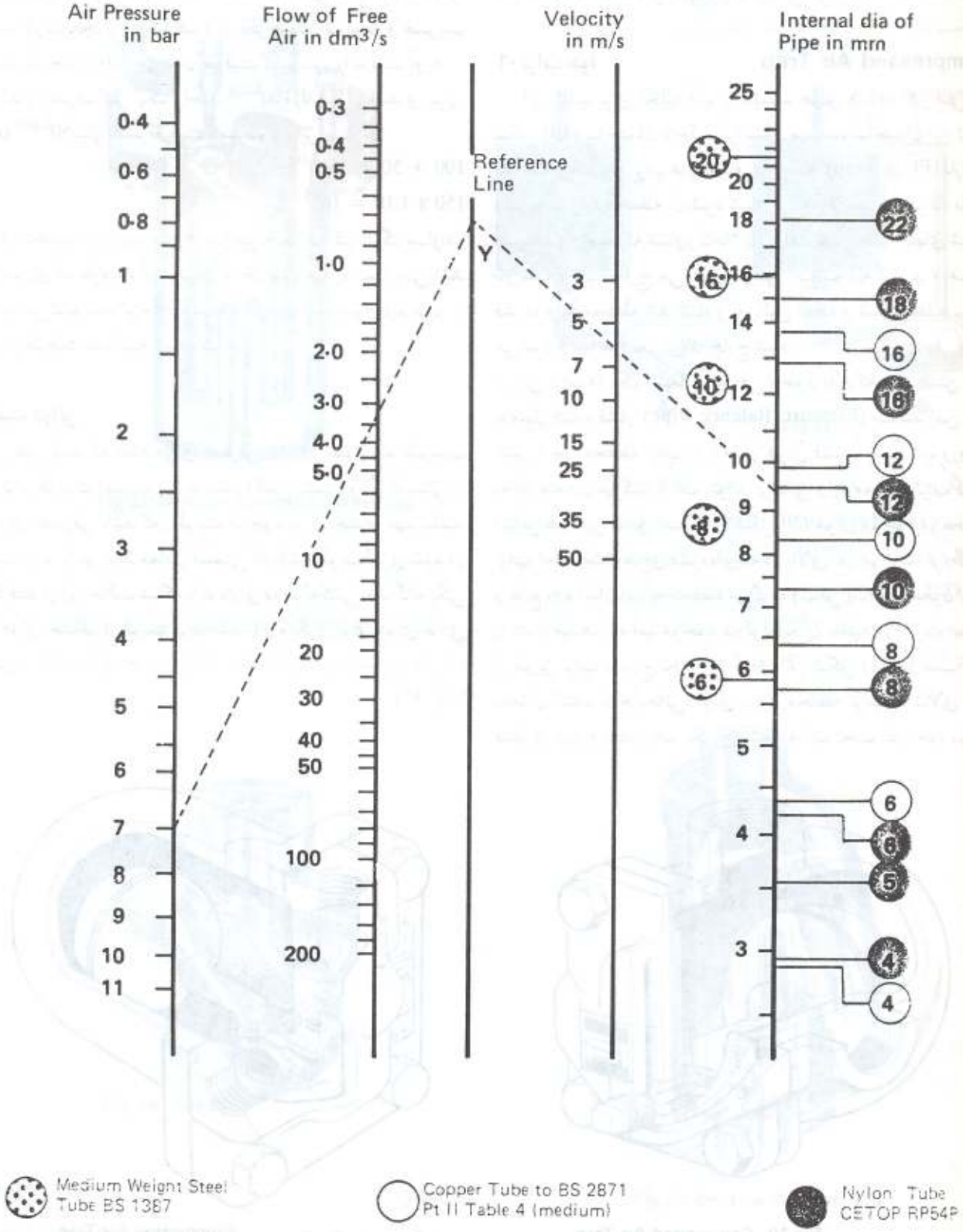


Fig 15 SI Metric Units Pipe Carrying Capacities at Varying Velocities



Medium Weight Steel Tube BS 1387

Copper Tube to BS 2871 Pt II Table 4 (medium)

Nylon Tube CETOP RP54P

۹-۹- تعیین ظرفیت کمپرسور و درایر

ظرفیت کمپرسور

با داشتن مصارف کلیه مصرف کننده‌ها برحسب (F.a.d) با بدست آوردن مجموع مصارف ودر نظر گرفتن توسعه و ضریب اطمینان در حدود 10٪ می‌توان ظرفیت کمپرسور را بدست آورد.

اگر مقدار مصرف کل یک واحد $100^{Lit/s}$(F.a.d) باشد و برای توسعه $50^{Lit/s}$ نیاز باشد ظرفیت کمپرسور برابر است با :

$100 + 50 = 150^{Lit/s}$

$150 \times 1.10 = 165^{Lit/s}$

پس از انتخاب نوع کمپرسورها با مراجعه به کاتالوگ سازنده کمپرسوری که ظرفیت آن نزدیک به ظرفیت مورد نیاز می‌باشد انتخاب می‌کنیم باید توجه داشت که ظرفیت کمپرسور باید برابر یا بیشتر از ظرفیت محاسبه شده باشد.

ظرفیت درایر

اگر در نظر باشد که تمام هوای مصرفی از درایر عبور کند ظرفیت درایر برابر ظرفیت کمپرسور باید باشد (کمی بیشتر) و اگر قسمتی از هوا برای مصارفی باشد که رطوبت موجود در آن چندان مهم نباشد ظرفیت درایر را می‌توان معادل قسمتی که باید رطوبت‌گیری شود در نظر گرفت در این حالت شبکه باید دارای دو لوله کشی جداگانه یکی برای هوای خشک (رطوبت گرفته شده) و دیگری برای هوای عادی باشد.

۱۰-۹- تجهیزات جنبی شبکه

در این قسمت کاربرد و ساختمان تجهیزاتیکه در شبکه هوای فشرده مورد استفاده قرار می‌گیرند بررسی می‌گردد :

۱- تراپ هوا Compressed Air Trap

این تراپ برای تخلیه آب از سیستم هوای فشرده بکار می‌رود شکل (19) ساختمان داخلی آنرا نشان میدهد، ساختمان این تراپ شباهت زیادی به تراپ‌های شناوردار بخار (Float Trap) دارد که وقتی آب وارد محفظه آن شود شناور را به بالا میبرد و هر گاه مقدار آب بحدی رسید که شناور کاملاً بالا رفت شیر تخلیه انتهای شناور باز شده و آب خارج می‌شود و وقتی آب تخلیه گردید و هوای فشرده وارد محفظه شد شناور به پائین افتاده و شیر تخلیه بسته می‌شود و لذا هوا نمی‌تواند خارج شود.

در این تراپ‌ها یک انشعاب اضافی وجود دارد که برای بستن لوله متعادل کننده فشار (Pressure Balance Pipe) میباشد این لوله فشار داخل محفظه تراپ را با فشار هوای فشرده پشت آب ورودی به آن متعادل می‌کند تا آب بتواند براحتی وارد محفظه تراپ گردد. اساس کار باین شکل است که (شکل 20) هوای موجود در محفظه تراپ تحت فشار هوای فشرده‌ای که در بالای آب می‌باشد قرار گرفته و مانع ورد آسان آب به محفظه می‌گردد (شکل 20) یک مخزن آبگیر را نشان میدهد که آب موجود در لوله به آن تخلیه می‌شود و سپس از طریق تراپ بخارج تخلیه می‌گردد و در شکل (21) با نصب لوله متعادل کننده با جابجائی هوای درون محفظه تراپ به بالای آب، فشار در قبل و بعد از آب یکی می‌شود و آب تحت ثقل خود سریعاً

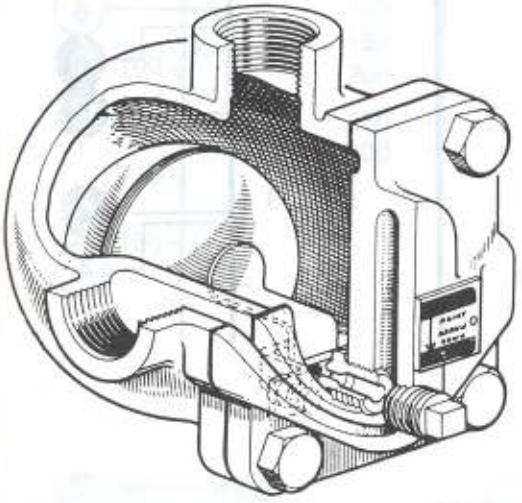
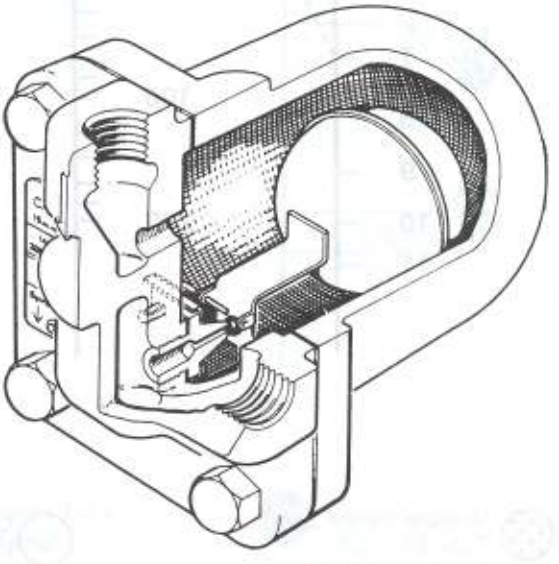


Fig 19 Compressed Air Trap



Compressed Air Trap

وارد تراپ می‌گردد. در سیستم‌هایی که مقدار آب کم می‌باشد نصب لوله متعادل کننده فشار لزومی ندارد و آب به آرامی و بتدریج وارد محفظه تراپ می‌گردد، (این موضوع در مورد تراپ‌های بخار نیز صادق است) ولی به هر حال اگر تردیدی در مقدار آب وجود دارد بهتر است لوله متعادل کننده فشار نصب شود.

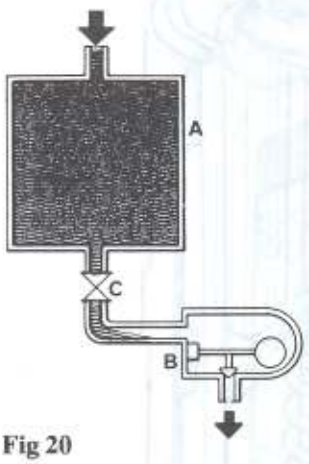


Fig 20

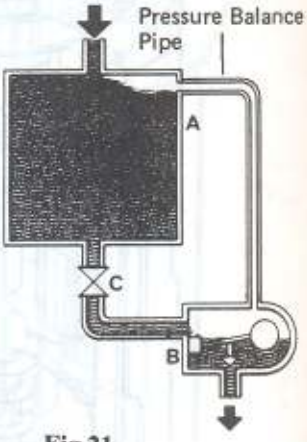


Fig 21

نوع دیگری از تراپ هوا بنام Dri - Line Air Trap میباشد که مانند نوع قبلی (Ball Float Trap) آبرا بمقدار ثابتی تخلیه نمی‌کند، بلکه وقتی آب بمقدار کافی در آن جمع شد باز می‌شود، شکل (22) این نوع تراپ را نشان میدهد، معمولاً این تراپ‌ها برای سیستم‌های با فشار زیاد تا 24^{bar} قابل استفاده است در حالیکه نوع قبلی تا 14^{bar} فشار می‌تواند کار کند.

Fig 22 Dri-Line Air Trap

نوع دیگر تراپ هوا Inverted Bucket می‌باشد که برای فشارهای تا 62^{bar} قابل استفاده است (شکل 23).

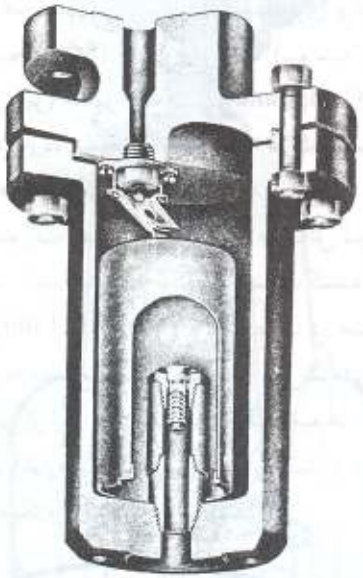


Fig 23 Drayton Inverted Bucket Trap

نوع دیگر بنام Airodyn می‌باشد که برای فشارهای بالا تا 24^{bar} در جائی که نوع شناوردار نتواند فشار بالاتری راتحمل کند بکار می‌رود (شکل 24).

Fig 24 Airodyn

2- فیلتر Filter

در هوای اتمسفر هم گرد و غبار و هم رطوبت وجود دارد که بعد از عبور از کمپرسور مقداری از رطوبت آنها کندانس می‌شود،

مقداری از رطوبت و گرد و غبار و روغن کمپرسور (در کمپرسورهائی که به روغن نیاز دارند) در لوله‌های اصلی توسط تراپ‌ها و آب جداکن‌ها (Separators) گرفته می‌شود ولی بهرحال مقداری از این مواد زائد همراه هوای فشرده وارد مصرف کننده می‌شود در ضمن همیشه شبکه لوله‌کشی مقادیری براده واشرهای غیرفلزی و رسوب (Scale) جداره لوله‌ها (پوسته زنگ‌زدگی، رسوب مواد زائد و غیر) خمیر لوله‌کشی (Jointing Compound) و نظایر آنها وجود دارد، همچنین روغنی که در کمپرسور سوخته می‌شود می‌تواند وارد شبکه لوله‌کشی شود و با مواد زائد دیگر مخلوط شده و بصورت خمیر در می‌آید و وسائل نیوماتیکی را خراب می‌کند و لذا باید حتماً در نزدیک مصرف کننده فیلتر نصب نمود فیلترهائی (Monitor Fiter) برای نصب در محل اتصال لوله هوای فشرده به مصرف کننده ساخته می‌شوند، شکل‌های (26,25) نمونه‌هائی از این نوع فیلترها را نشان میدهد. میزان دقت فیلترها به میکرون اندازه‌گیری می‌شود یعنی اندازه ذراتی را که می‌تواند بگیرد به میکرون مشخص می‌کنند.

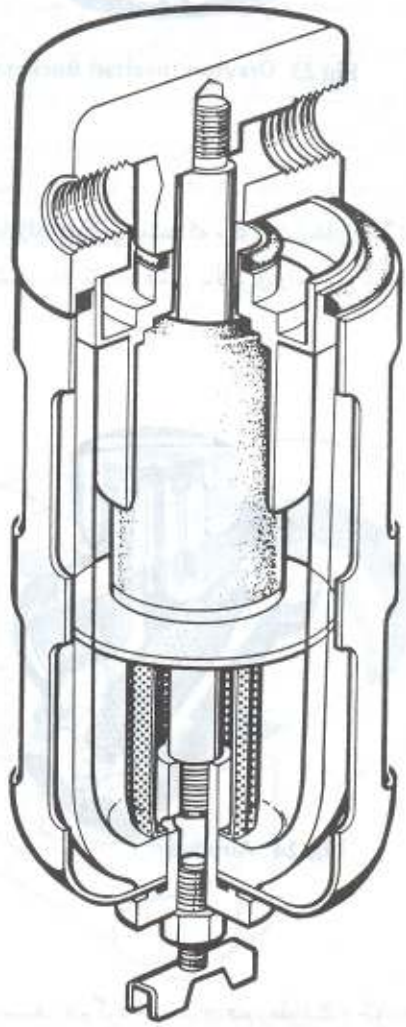


Fig 25 Compressed Air Filter

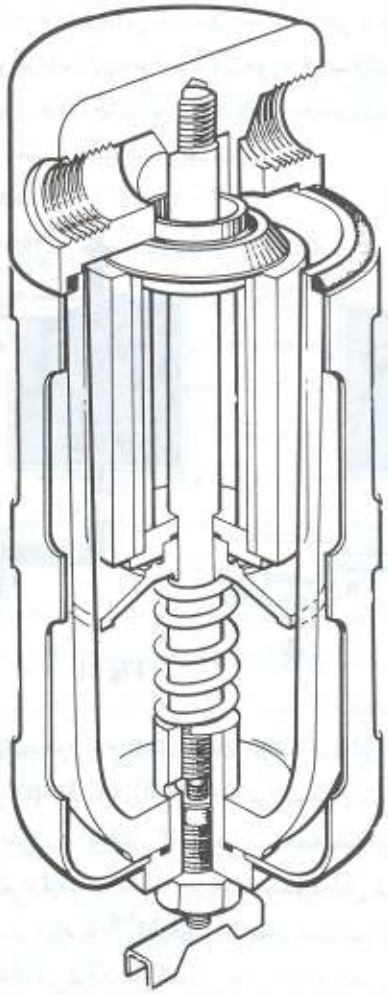


Fig 26 Coalescing Filter

مواد زائد که در فیلتر جمع میشوند همراه آب به ته فیلتر، ته‌نشین می‌شود که هر چند گاه یکبار توسط باز کردن درپوش زیر فیلتر تخلیه می‌شوند و یا اینکه با نصب یک شیر تخلیه اتوماتیک (شکل 27) که در زیر فیلتر نصب می‌شود می‌توان آنها را بطور اتوماتیک خارج کرد.

3- فیلترهای قابل نصب روی خطوط اصلی لوله Filter

فیلترهائی ساخته می‌شوند که می‌توان در روی لوله خروجی کمپرسورها نصب نمود که نوعی از آن برای حذف روغن و آب (Oil Filter) در کمپرسورهای روغن‌دار میباشد وذرات روغن را تا 0.003 میکرون حذف می‌کنند و نوع دیگری از آن می‌تواند روغن و آب و نیز مواد زائد تا اندازه 0.01 میکرون و نیز بو را توأماً حذف نماید.

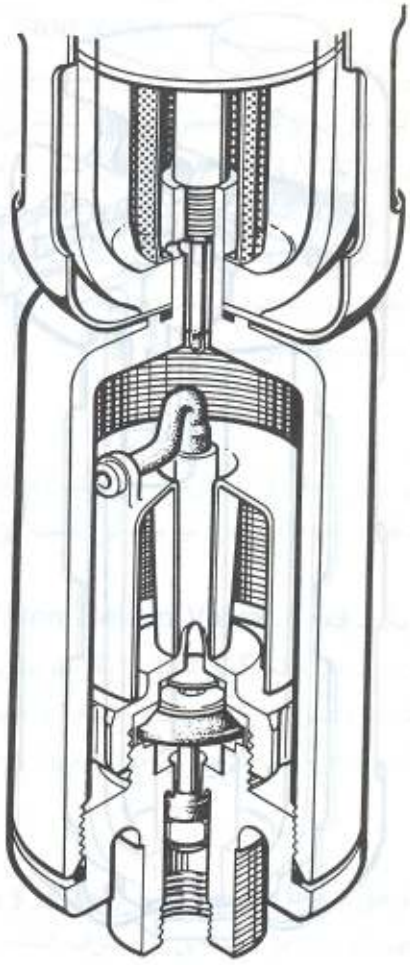


Fig 27 Auto-Drain

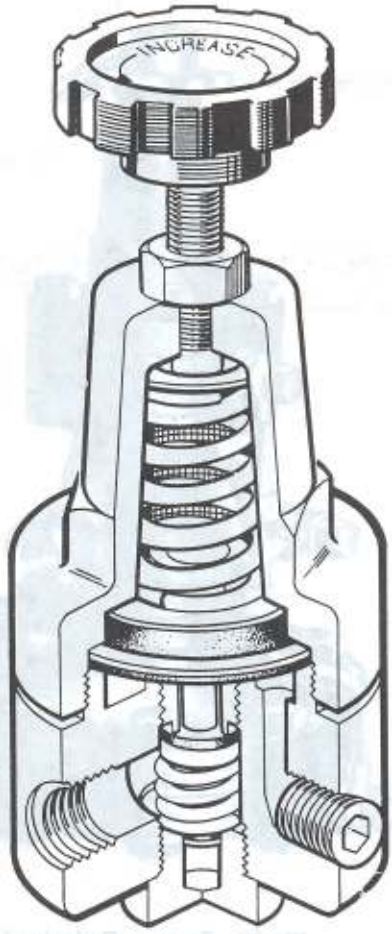


Fig 28 Regulator

4- رگولاتور Regulator

این وسیله برای تنظیم فشار در روی مصرف کننده می‌باشد و در واقع نوعی فشارشکن کوچک است. معمولاً همیشه رگولاتور همراه فیلتر و روغن‌زن (در صورت نیاز) روی مصرف کننده نصب می‌گردد، شکل (28) نوعی از این رگولاتور رانشان میدهد.

5- فشارشکن Main Pressure Reducing Valve

این شیر روی خط اصلی و در انشعابات اصلی نصب می‌گردد و دارای یک دیافراگم می‌باشد شکل (29) این نوع فشارشکن را نشان میدهد، لوله‌کشی مجموعه فشارشکن در شکل (12) مشاهده می‌شود در این مجموعه ابتدا یک آب جداکن (Separator) همراه با تراپ هوا (Air Trap) برای تخلیه اتوماتیک آب و سپس شیر قطع و وصل و صافی (Strainer) که باید قسمت توری‌دار آن بطور افقی قرار بگیرد تا آب در آن جمع نشود و سپس فشارشکن و بعد از آن شیر قطع و وصل نصب می‌گردد، روی لوله فشار پائین (Down Stream) یک شیر اطمینان (Safety Valve) باید نصب گردد تا در صورت بالا رفتن فشار بیش از حد لازم برای مصرف کننده عمل کرده و مانع از ایراد صدمه به مصرف کننده گردد همچنین قبل و بعد از فشارشکن باید فشارسنج نصب گردد تا فشار دوطرف قابل رویت باشد. ضمناً تا یک متری قبل و بعد از مجموعه فشارشکن هیچ نوع شیری نباید نصب شود.

تنظیم فشار روی شیر می‌تواند بطور دستی و یا توسط یک فرمان گیرنده (Actuator) و از یک سیستم تعیین فشار انجام گیرد ولی معمولاً تنظیم دستی راحت‌تر میباشد.

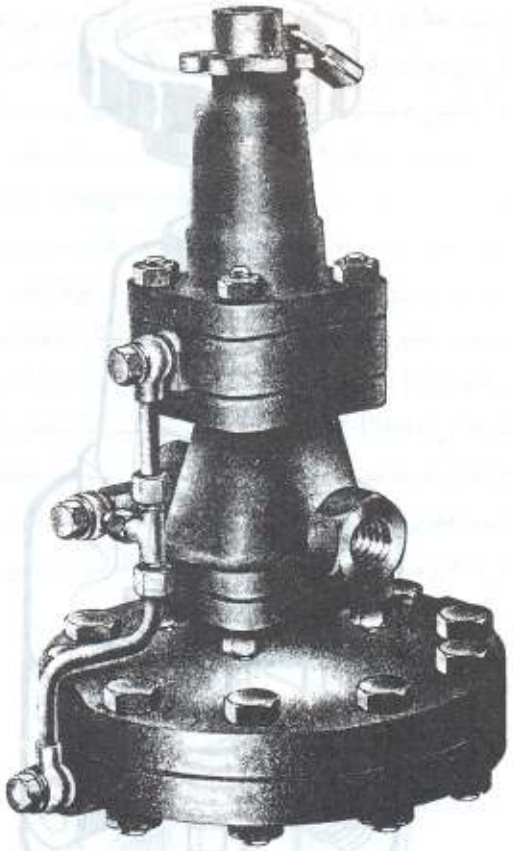


Fig 29 Pressure Reducing Valve

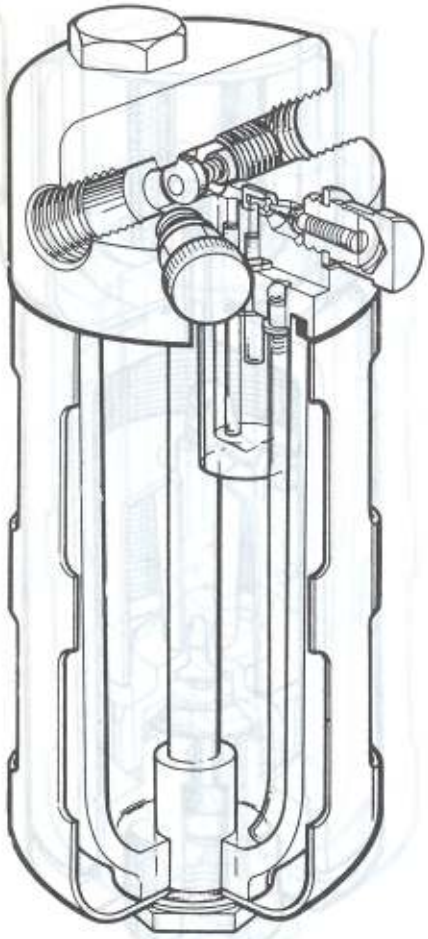


Fig 30 Lubricator

6- روغن‌زن Lubicator

وقتی هوای فشرده برای مصرف در ابزارهای بادی یا موتورهای بادی، سیلندرهای نیرویی و نظایر آنها بکار می‌رود اگر از شبکه هوای بدون روغن (Oil Free) استفاده می‌کنند باید در محل نصب انشعاب هوا به آنها یک روغن زن نصب نمود این وسیله که دارای یک محفظه شفاف مجرای روغن می‌باشد (شکل 30) همواره مقدار بسیار کمی (قابل تنظیم) روغن به هوا اضافه مینماید.

این وسیله معمولاً همراه فیلتر و رگولاتور بصورت یک مجموعه (ابتدا فیلتر سپس رگولاتور و بعد از آن روغن‌زن) بکار میرود.

Fig 31 Separator Sizes 1½" to 8"

7- آب جداکن Separator

این وسیله برای جداکردن ذرات معلق آب از هوای فشرده بکار میرود که در داخل آن پره‌هائی نصب گردیده که لبه تیز آنها بصورت برگشته می‌باشد تا آب را گرفته ونیز مانع از همراه شدن مجدد آن با هوا شود. شکل (31) نمونه‌ای از آب جدا کن افقی را نشان میدهد، نوع عمودی آن نیز ساخته می‌شود.

8- شیر قطع و وصل (شیر توپکی) Spherical Stop Valve

این شیر که در واقع همان شیر گاز می‌باشد (هوای فشرده نوعی گاز است ولی مثل سایر گازها خطر انفجار یا کشندگی ندارد و لذا به مراقبت‌های ویژه‌ای نیازی ندارد) داخل این شیر یک قطعه گوی شکل وجود دارد که در کمر آن یک سوراخ وجود دارد و توسط یک دسته باز و بسته می‌شود، در حالت باز سوراخ هم محور لوله می‌شود و اجازه عبور به هوا میدهد و در حالت بسته سوراخ عمود بر محور لوله شده و مسیر بسته می‌شود.

9- صافی Strainer

این شیر برای حذف ذرات درشت می‌باشد که قبل از شیرآلاتی مثل فشارشکن و شیرهای کنترل نیوماتیکی نصب می‌گردد.

10- شیر یکطرفه Spherical Non Return Valve

این شیر که در آن یک قطعه گوی شکل و یک فنر مارپیچ نصب شده به هوا فقط اجازه عبور از یک جهت را میدهد و معمولاً در شبکه زیاد مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و در موارد بسیار خاص ممکنست بکار رود.

نکته‌ای در مورد محل نصب فیلتر، رگولاتور و روغن‌زن

این تجهیزات باید در فاصله‌ای از مصرف کننده نصب شود که طول لوله بعد از آنها تا محل اتصال به ماشین باندازه‌ای باشد که حداکثر 50% میزان هوای مصرفی (F.a.d) جای گیرد .

مثال:

برای یک سیلندر نیروئی که 40 میلیمتر قطردارد و طول مسیر حرکت پیستون در سیلندر (Stroke) 50^{mm} می‌باشد و فشار هوا در آن 4^{bar} است توسط یک لوله مسی بقطر 8^{m} میلیمتر (قطر داخلی 6.32میلیمتر) به یک روغن‌زن متصل گردیده است طول لوله چه مقدار باید باشد.

حل:

معمولاً سازنده وسائل نیوماتیکی مقدار مصرف برای هر مصرف کننده را میدهند ولی اگر برای سیلندرهای نیروئی این مقدار در دسترس نباشد می‌توان بصورت زیر مقدار مصرف هوا در آن‌ها حساب نمود :

مقدار F.a.d برای هر رفت و آمد (Stroke)

$$= \frac{\pi}{4} \times (40)^2 \times 50 \frac{(4 + 1.013)}{1.013} = 310930^{mm3}$$

$$310930 \times 1/2 = 155465^{mm3} \quad \text{50 درصد مصرف}$$

یک متر لوله مسی بقطر 8^{mm} و بقطر داخلی 6.32 برابر است با

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \times 1000 = \frac{\pi}{4} \times (6.32)^2 \times 1000 = 31370^{mm3}$$

بنابراین طول لوله فوق برابر است با

$$L = \frac{155465}{37370} = 5^{m}$$

لذا حداکثر طول لوله بین روغن‌زن و پیستون می‌تواند 5 متر باشد و بیشتر مجاز نیست.

11-9- لوله و اتصالات مصرفی

برای هوای فشرده از لوله‌های فولادی بدون درز که فشار زیاد تحمل می‌کنند باید استفاده نمود که بصورت دنده‌ای (Fitting) می‌توان اجراء نمود

برای بیمارستانها باید از لوله‌های مسی فشارقوی یا لوله‌های مخصوص استفاده کرد.

برای اتصال هوای فشرده از مجموعه فیلتر و رگولاتور به مصرف کننده و یا لوله‌کشی‌های داخل مصرف کننده و نظایر آنها از لوله‌های نایلونی مخصوص این کار باید استفاده کرد. همچنین از اتصالات فشارقوی (مخصوص گاز و بخار) برای شبکه هوای فشرده باید استفاده نمود.

مشخصات لوله‌های مناسب (فولادی - مسی - نایلونی) برای هوای فشرده در جدول (7) داده شده است.

Table 7 Imperial Units Some Standard Tube Dimensions

Steel Tubes to BS 1387			Copper Tubes to BS 2871–1957			Preferred Sizes of Nylon Tube		
Nominal Bore (inches)	Med Weight Min ID (inches)	Heavy Weight Min ID (inches)	OD (inches)	Thickness SWG	Min ID (inches)	OD (inches)	Min ID (inches)	Max Working Pressure psi*
1/8	0·226	0·178	1/8	22	0·066	1/8	0·058	500
1/4	0·338	0·290		20	0·050	3/16	0·122	400
3/8	0·476	0·428	3/16	22	0·128	1/4	0·165	400
1/2	0·623	0·575		20	0·112	5/16	0·213	400
3/4	0·839	0·791	1/4	22	0·191	3/8	0·245	400
1	1·060	0·996		20	0·175	1/2	0·369	250
1 1/4	1·401	1·337	5/16	22	0·253	3/8	0·587	250
1 1/2	1·633	1·569		20	0·237	7/8	0·680	200
2	2·066	2·002	3/8	22	0·316			
2 1/2	2·681	2·617		20	0·300			
3	3·141	3·085	7/8	20	0·425			
4	4·107	4·035		18	0·401			
5	5·075	5·035						
6	6·075	5·035						

*at temperatures below 120°F

Table 7 SI Metric Units Some Standard Tube Dimensions

Steel Tubes to BS 1387			Copper Tubes to BS 2871 Pt 2 Table 4 Medium			Preferred Sizes of Nylon Tube CETOP RP54P – up to 30°C Light Gauge		
Nominal Bore mm	Med Weight Min ID mm	Heavy Weight Min ID mm	OD mm	Thickness mm	Min ID mm	OD mm	Min ID mm	Max Working Pressure bar at 30°C
6	5·8	4·5	3	0·6	1·72	4	2·77	12
8	8·6	7·5	4	0·6	2·72	5	3·55	13
10	12·1	11·0	6	0·8	4·32	6	4·24	13
15	15·8	14·6	8	0·8	6·32	8	5·74	14
20	21·3	20·1	10	0·8	8·32	10	7·24	14
25	26·9	25·3	12	1·0	9·90	12	9·24	11
32	35·6	34·0	16	1·0	13·9	16	12·74	10
40	41·5	39·9				18	14·7	9
50	52·5	50·8				22	18·1	9
65	68·1	66·4				28	23·14	9
80	80·0	78·4						
100	104·0	102·0						
125	129·0	128·0						
150	154·0	153·0						

Note: 1 bar = 100 kPa

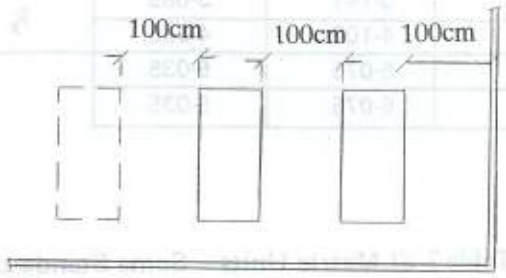
12-9- کمپرسور خانه

کمپرسورخانه‌ها باید دارای فضای کافی برای نصب کمپرسورها باشند که بتوان حدود حریم آنها را رعایت نمود همچنین باید ارتفاع سقف کمتر از 4 متر نباشد تا حجم فضای کمپرسورخانه باندازه‌ای باشد که تجهیزات و بخصوص مخزن هوای فشرده براحتی قابل نصب باشد از طرفی هوا در کمپرسورخانه بایدبتواند گردش نماید تا محیط خنک شود و لذا بهتر است کمپرسورخانه‌ها دارای پنجره باشند.

مشخصات کمپرسورخانه بقرار زیر میباشد :

1- حد و حریم کمپرسورها

حد و حریم فاصله کمپرسورها از دیوار و از یکدیگر مطابق شکل (32) می‌باشد :



یک کمپرسور و بیشتر **Fig 32**

همانطور که مشاهد میشود فاصله کمپرسورها از دیوار جانبی و دیوار پشت (محل افترکولر و روغن خنک کن) باید حداقل یک متر باشد، و فاصله کمپرسورها از یکدیگر نیز باید در حدود یک متر باشد (هرگز کمتر از 60^{cm} نباشد).

2- محل دریچه پشت کمپرسور در دیوار

ابعاد دریچه باید 100^{cm} x 100^{cm} باشد و ارتفاع زیر دریچه تا کف کمپرسورخانه باید به اندازه‌ای باشد که دریچه درست در مقابل رادیاتورهای هر کمپرسور قرارگیرد و چون ارتفاع شبکه رادیاتورها (افترکولر و روغن خنک‌کن) در کمپرسورهای مختلف از کف آنها متفاوت می‌باشد لذا باید مدارک فنی کمپرسورها دقیقاً مورد بررسی قرار گیرند تا ارتفاع دقیق زیر دریچه از کف کمپرسورخانه مشخص شود، به شکل (33) توجه نمائید.

روی دریچه باید یک گریل (Grill) که از یکسری تسمه تشکیل شده است نصب شود، شکل (34) فاصله تسمه‌ها را از یکدیگر و زاویه آنها را نسبت به افق نشان میدهد.

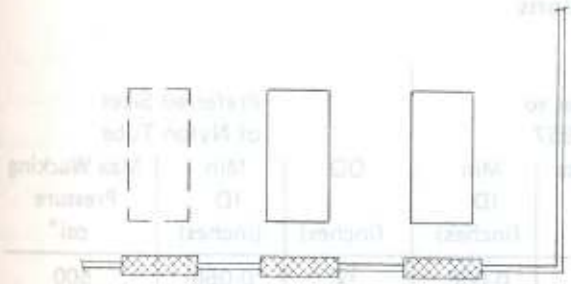


Fig 33

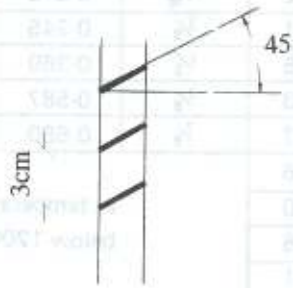


Fig 34

3- آرایش کمپرسورخانه Comperessors Layout

پس از رعایت حریم کمپرسورها از دیوارها و از یکدیگر باید آرایش کل کمپرسورخانه که شامل کمپرسورها، مخزن هوای فشرده (Receiver) و دراير (Dryer) و لوله‌کشی‌های ارتباطی آنها میباشد مشخص گردد و نکات عمده‌ای را مورد توجه قرار داد.

از جمله این نکات ابعاد کمپرسورخانه، محل نصب کمپرسورخانه و محل دراير و مخزن هوای فشرده می‌باشد، همچنین درب کمپرسورخانه نیز باید در جای مناسب قرار گیرد.

ابتدا کمپرسورها را در یک نقشه مقدماتی با رعایت حریم در یک سمت کمپرسورخانه قرار میدهیم، بطوریکه رادیاتورهای مربوط به افترکولر و روغن خنک‌کن در سمت دیوار خارجی قرار گیرد که بتوان در دیوار دریچه‌های مورد نظر را قرار داد، تعداد کمپرسورها در تعیین ابعاد کمپرسورخانه مؤثر است و چون همواره یک کمپرسور بطور قطع نصب می‌شود و کمپرسورهای دیگر را برای توسعه بایددر نظر گرفت در نتیجه همیشه فضای کمپرسورخانه‌ها باید حداقل برای دو کمپرسور در نظر گرفته شوند و محل دراير و مخزن نیز باید بگونه‌ای انتخاب شود که علاوه بر ارتباط مناسب و دسترسی راحت به آنها، درب کمپرسورخانه را مسدود و یا محدود نکنند و حداقل فضا را اشغال نمایند. در زیر چند نمونه از آرایش کمپرسورخانه مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابعاد درب کمپرسورخانه برای هر شرایطی باید بعرض 2 متر و ارتفاع 3متر باشد.

یک کمپرسور موجود و یک کمپرسور برای توسعه

اگر کمپرسور موجود با دایر هم ظرفیت خود داشته باشیم آرایش بصورت شکل (35) در می‌آید. ابعاد شکل‌ها به سانتیمتر می‌باشد.

$A = 50+ \phi +100+c+50+b+100= \phi +b+c+300$

$B = 100+a+100+a+100=2a+300$

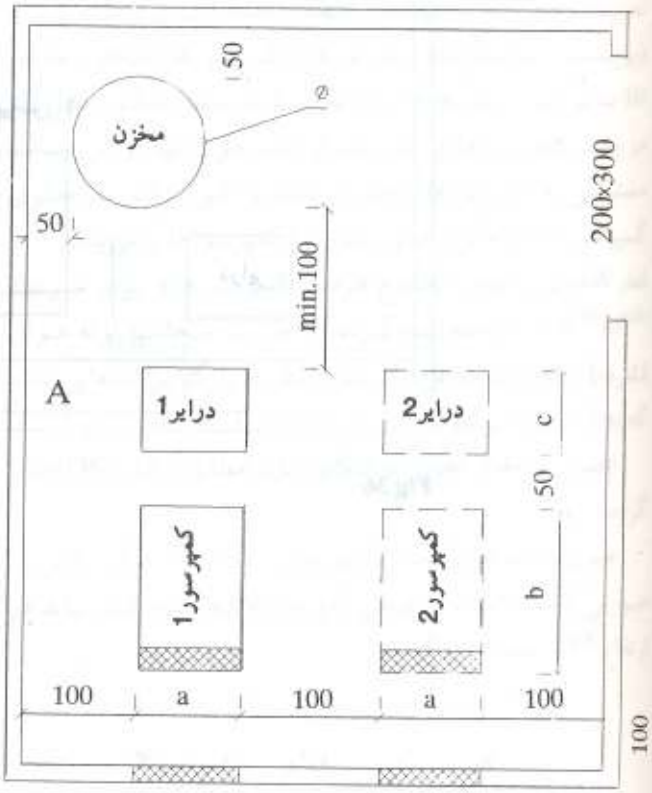


Fig 35

توجه کنید که شروع آرایش باید از کمپرسور اول باشد و فاصله کمپرسور دوّم تا دیوار باید در حدود یک متر باشد (کمی کمتر یا کمی بیشتر) ولی هرگز کمتر از 60^{cm} نباشد.

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود کمپرسور موجود (شماره1) را در انتهای کمپرسورخانه و کمپرسور توسعه (شماره2) را در نزدیک درب در نظر گرفته‌ایم زیرا نصب کمپرسور دوّم در این حالت بسیار راحت‌تر می‌باشد. همچنین اگر ظرفیت مخزن را برای دو کمپرسور در نظر بگیریم بسیار مناسب‌تر و اقتصادی‌تر می‌باشد زیرا اولاً در فاز اول ذخیره هوا بیشتر می‌باشد که مسلماً نتایج بهتری دارد، ثانیاً لوله‌کشی مخزن یکبار انجام می‌شود (البته با رعایت قطر لوله‌ها برای توسعه) ولی اگر در نظر باشد که مخزن برای کمپرسور اول انتخاب شود و در آینده مخزن دیگری نصب گردد، باید محل آن نیز پیش‌بینی شود. ولی توصیه می‌شود که پس از نصب کمپرسور دوّم یک مخزن واحد با ظرفیت مناسب برای دو کمپرسور بجای مخزن اول نصب گردد.

اگر بتوان مصرف توسعه را از قبل پیش‌بینی کرد بهتر است که یک درایر برای هر دو کمپرسور با ظرفیت مجموع آنها در نظر گرفته شود که در فاز اول زمان کارکرد آن کمتر می‌شود و در توسعه بطور نرمال در شبکه قرار می‌گیرد. همچنین بهتر است مخزن هوای فشرده نیز برای هر دو کمپرسور در نظر گرفته شود. در اینصورت درایر را می‌توان یا در جلوی کمپرسور اول نصب نمود و یا بطور مستقل در کمپرسورخانه نصب کرد (شکل 36).

در اینجا نیز شروع آرایش از درایر می‌باشد و فاصله کمپرسور توسعه (شماره 2) تا دیوار می‌تواند در حدود یک متر (حداقل 60 سانتی‌متر) باشد.

$A = 50+ \phi +100+b+100=250+ \phi +b$

$B = 400+3a$

به محل کمپرسور شماره 2 (توسعه) توجه شود (محل برای نصب کمپرسور دوّم راحت‌تر است).

کمپرسورها دارای شاسی را می‌توان مستقیماً روی کف کمپرسورخانه نصب نمود البته کف باید کاملاً تراز باشددرغیر اینصورت باید یک فونداسیون غیر مسلح بارتفاع 5^{cm} (از بتون 300 کیلوگرم بر مترمکعب) در زیر آنها ایجاد نمود ولی بهرحال بهترین حالت نصب آنها روی کف می‌باشد.

دو کمپرسور موجود و یک کمپرسور یا بیشتر برای توسعه

در این حال آرایش تجهیزات مطابق شکل (37) می‌باشد. کمپرسور 2 می‌تواند برای فاز اول و یا برای توسعه در نظر گرفته شود و نیز تعداد کمپرسورهای توسعه با رعایت حریم‌ها می‌تواند به هر اندازه باشد ولی باید ظرفیت کمپرسورها را بگونه‌ای انتخاب نمود که هرگز بیش از سه کمپرسور لازم نباشد چون نگهداری سیستم و مصرف برق بیشتر شده و فضای بیشتری نیز مورد نیاز است در غیر اینصورت سیستم غلط طراحی شده است مگر اینکه بهر علت این موضوع اجتناب ناپذیر باشد.

$A= 100 + b + 100 + \varphi + 50 = 250 + \varphi + b$

$B = 500 + 4a$

بطورکلی اگر حریم و ضوابط رعایت گردند می‌توان آرایش‌های دیگری نیز ایجاد نمود ولی باید به ارتباط تجهیزات و نیز مسائل توسعه (نصب تجهیزات توسعه و حمل و نقل آنها) و صرفه‌جوئی در سطح اطاق توجه کامل نمود.

4- لوله‌کشی کمپرسورخانه

در لوله‌کشی کمپرسورخانه نکاتی را باید رعایت نمود که بقرار زیر می‌باشند.

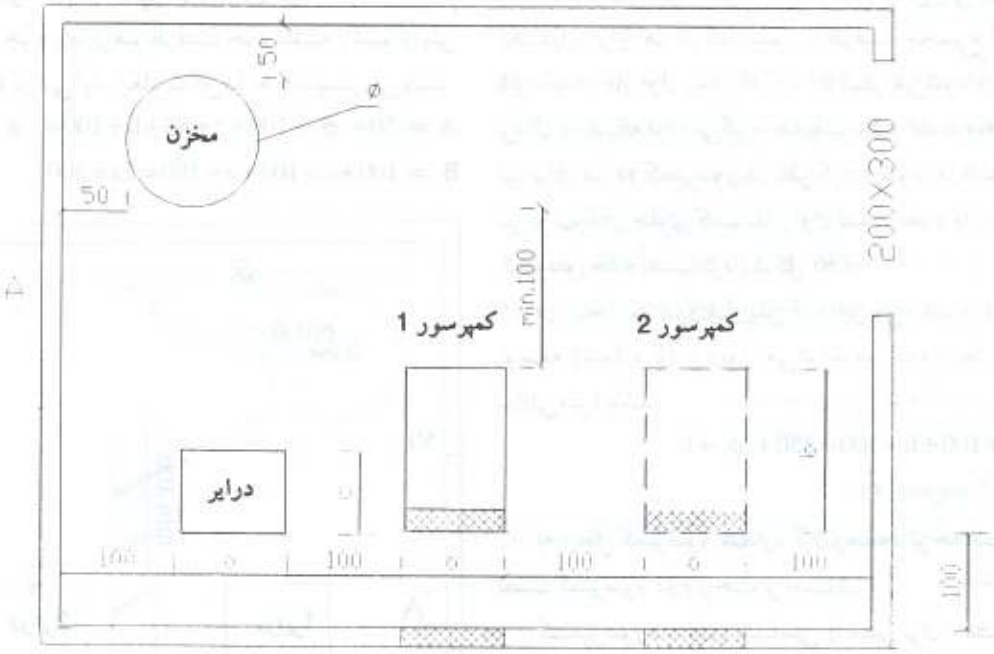

150
مخزن
50
200X300
min.100
کمپرسور 1
کمپرسور 2
درایر
100
100
100
100
100
A
B

Fig 36

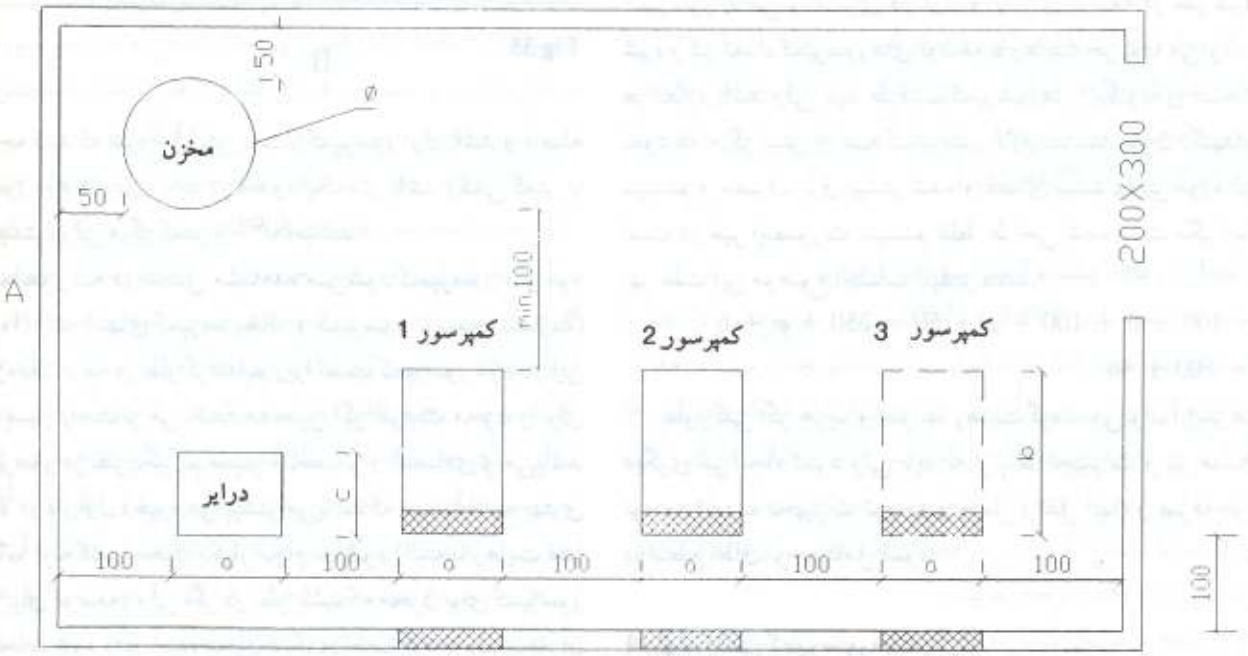

150
مخزن
50
200X300
min.100
کمپرسور 1
کمپرسور 2
کمپرسور 3
درایر
100
100
100
100
100
A
B

Fig 37

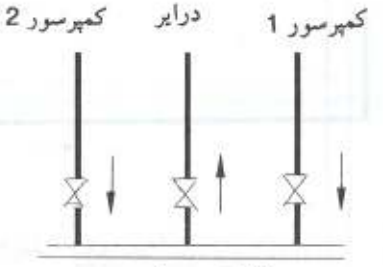
1-کلکتور اصلی

کلکتور اصلی باید جنب دیوار پشت کمپرسورها قرار بگیرد و فاصله پشت آن از دیوار حداقل 10 سانتی‌متر باشد، ارتفاع کلکتور از کف بستگی به محل دریچه‌های دیواری دارد یعنی اگر دریچه‌ها به کف نزدیک باشند کلکتور حداقل 10 سانتی‌متر بالای دریچه‌ها می‌تواند نصب شود و اگر دریچه‌ها از کف فاصله زیادی داشته باشند (برحسب وضعیت محل رادیاتورهای کمپرسورها) کلکتور حداقل 10 سانتی‌متر زیر دریچه‌ها باید نصب گردد. محل کلکتور فقط باید در پشت کمپرسورها و جنب دیوار باشد چون تنها در این حالت دسترسی به کمپرسورها راحت می‌باشد و اگر کلکتور در جلوی کمپرسورها اجراء گردد مسیر عبور بین کمپرسورها را می‌بندد.

قطر کلکتور براساس مجموع ظرفیت کمپرسورها و برای سرعت $6^{m/s}(20^{fps})$ باید محاسبه گردد (از چارت محاسبه لوله هوای فشرده) و قطر آن حداقل یک سایز بیش از بزرگترین انشعابی باشد که به آن وصل می‌شود.

اتصال لوله‌های اصلی به کلکتور باید مطابق شکل (38) اجراء گردد.

عبور لوله‌ها حتی‌الامکان باید روی دیوارها، اجراء گردد ولی در صورتی که لازم باشد از عرض کمپرسورخانه عبور کند باید در ارتفاع 3^{m} از کف اجراء گردد.



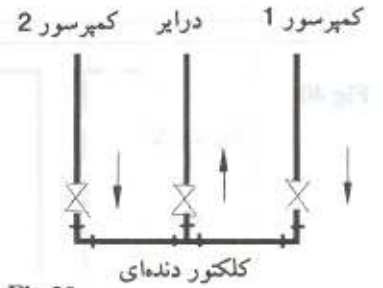


Fig 38

2-هواکش

در ارتفاع حدود 3^{m} از کف محل باید یک هواکش (Ventilator) نصب گردد تا جریان هوا از دریچه‌های دیواری بطرف هواکش و بخارج باشد تا هوای گرم رادیاتورهای کمپرسورها به بالا برود و اطراف کمپرسور خشک باشد، و همواره هوای تازه و تمیز وارد کمپرسورخانه گردد. ظرفیت هواکش باید باندازه‌ای باشد که حجم هوای کمپرسورخانه 30 بار در ساعت تعویض گردد (Air Change = 30) یعنی اگر حجم هوای کمپرسورخانه 150 مترمکعب باشد ظرفیت هواکش برابر است با:

$$C = \frac{150 \times 30}{60\text{دقیقه}} = 75^{m3/h}$$

که یک هواکش به ظرفیت حدود 3000^{cfm} مناسب می‌باشد.

شکل (39) محل نصب هواکش را نشان میدهد.

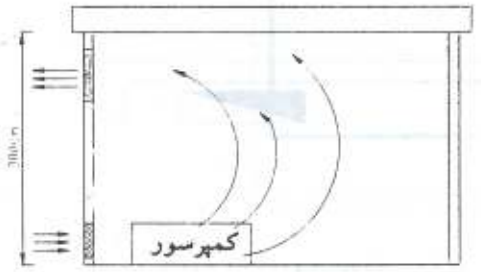


Fig 39

3-ابعاد درب کمپرسورخانه

همانطور که قبلاً هم اشاره شد حداقل عرض درب کمپرسورخانه 2 متر و ارتفاع آنرا حدود 3 متر باید باشد.

برای راحتی نقل و انتقال و تردد بهتر است درب یک پارچه و بصورت کشوئی باشد (به یکطرف برود) ولی اگر وضعیت محل اجازه نصب درب کشوئی را ندهد می‌تواند درب دو لنگه باز شو نصب نمود، مشروط بر اینکه بطرف بیرون باز شوند.

4- محل تابلو برق کمپرسورخانه باید نزدیک به درب و حذب دیوار باشد تا اطراف آن باز بوده و دسترسی به آن راحت باشد. شکل (40)

5- شکل‌های (41 الی 42) لوله‌کشی کمپرسورخانه را نشان میدهند.

در آرایش‌های شکلهای (41 الی 42) می‌توان هوا را از درایر عبور داد و یا در صورت لزوم در هنگام تعمیر درایر آنرا بای‌پاس (by pass) نمود.

در محل F می‌توان فیلتر آب و روغن نصب نمود (با شیر بای‌پاس) البته اگر فیلتر روغن و آب مستقل از یکدیگر باشند و یا دو فیلتر یکی برای ذرات خارجی درشت و بعدی برای ذرات خارجی ریزتر لازم باشد لوله‌کشی فیلتر عیناً تکرار می‌گردد، محل فیلتر باید قبل از درایر باشد تا روغن حذف شده، و مقدار زیادی نیز آب جدا گردد و راندمان درایر افزایش یابد.

اگر کمپرسورها پیستونی باشند چون ارتعاش دارند باید ابتدا بعد از کمپرسور شلنگ لرزه‌گیر فشارقوی (High Pressure Hose) نصب نمود (شکل 43)

اگر بجای یک مخزن هوای فشرده دو مخزن نصب شود (یکی در توسعه) لوله‌کشی آنها بصورت شکل (44)

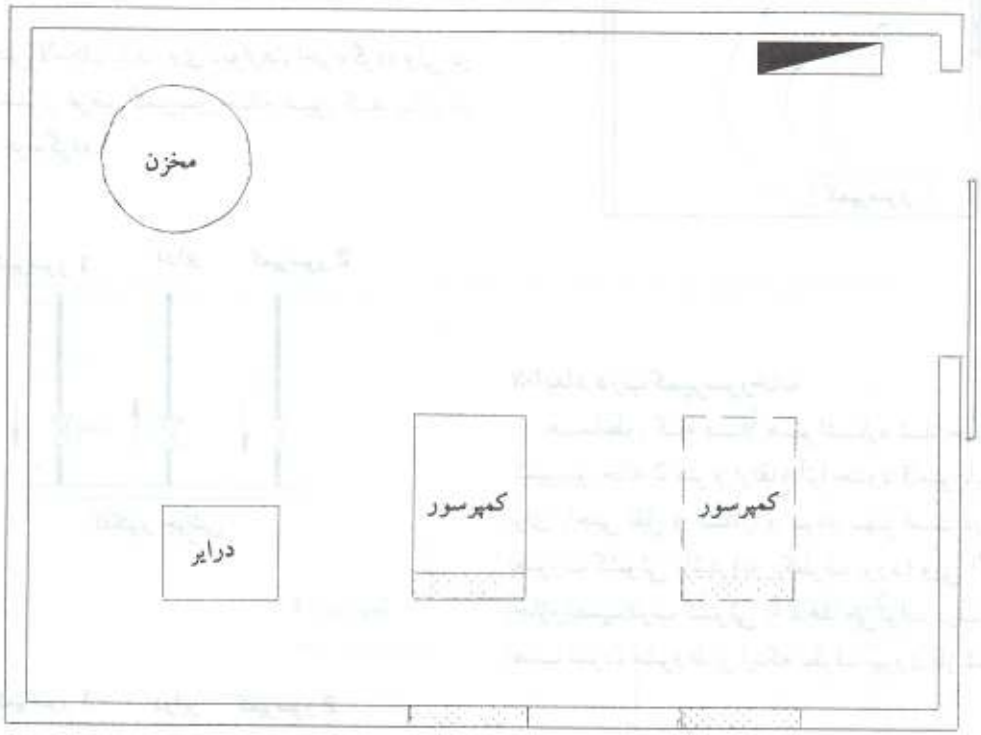


Fig 40

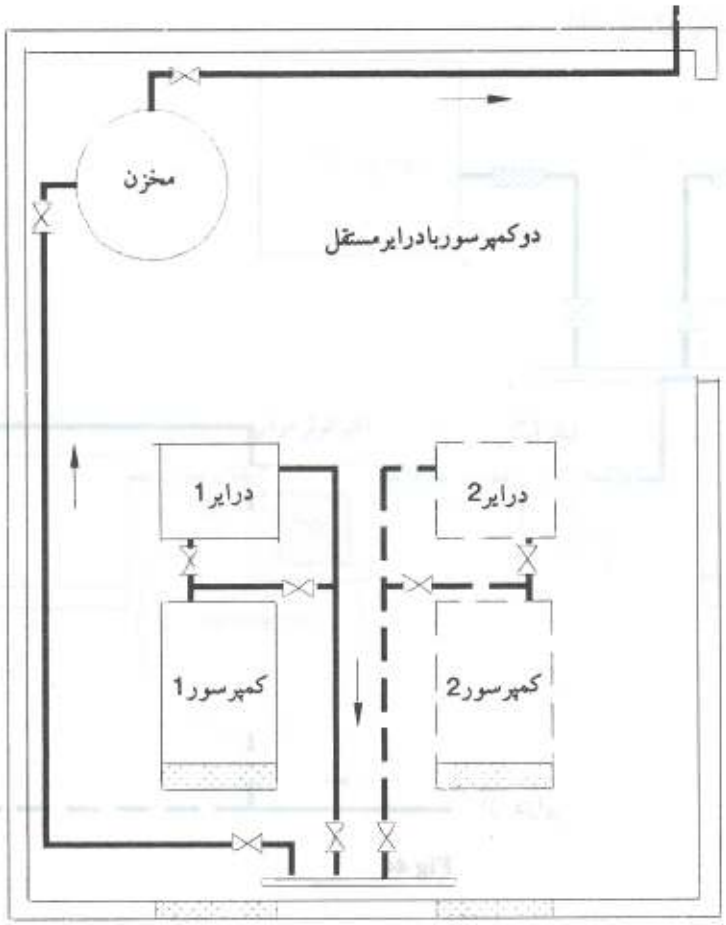

مخزن
دوکمپرسوربادرایرمستقل
درایر1
درایر2
کمپرسور1
کمپرسور2

Fig 41

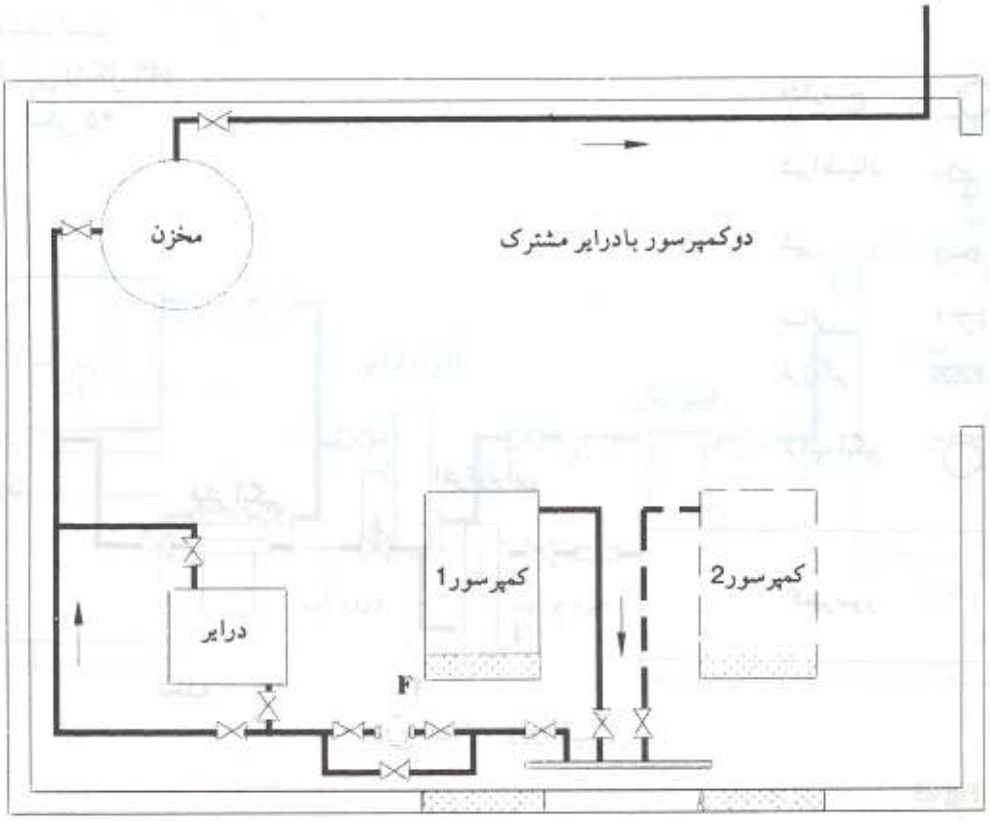

مخزن
دوکمپرسور بادرایر مشترک
درایر
کمپرسور1
کمپرسور2
F

Fig 42

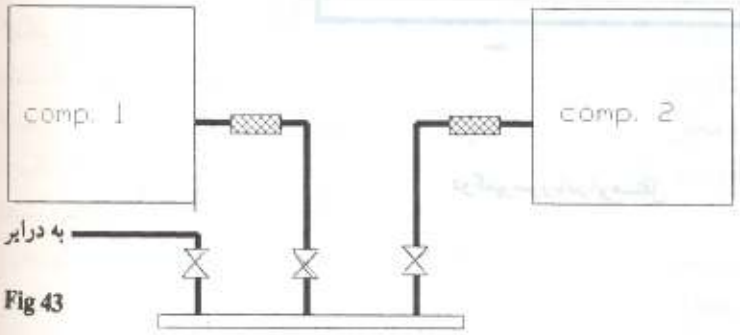


Fig 43

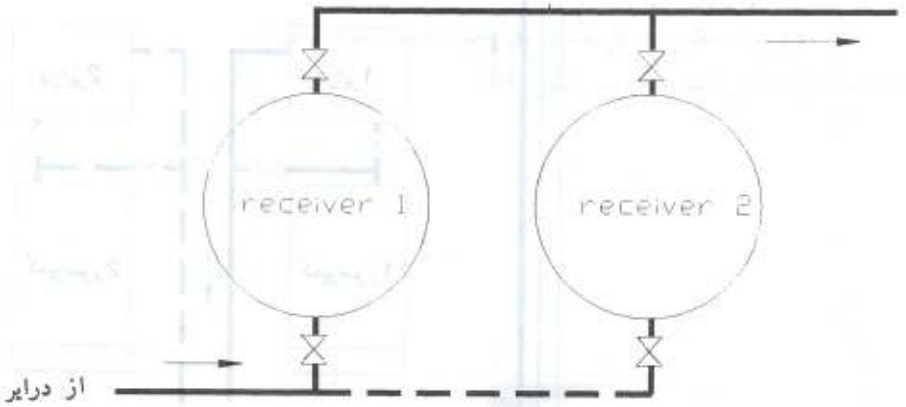


Fig 44

لوله‌کشی کمپرسورها

لوله‌کشی کمپرسورها و تجهیزات جنبی آنها در شرایط گوناگون در شکل‌های زیر نشان داده شده است.

1- یک کمپرسور با افترکولر آبی (شکل 45)

شکل ۴۵

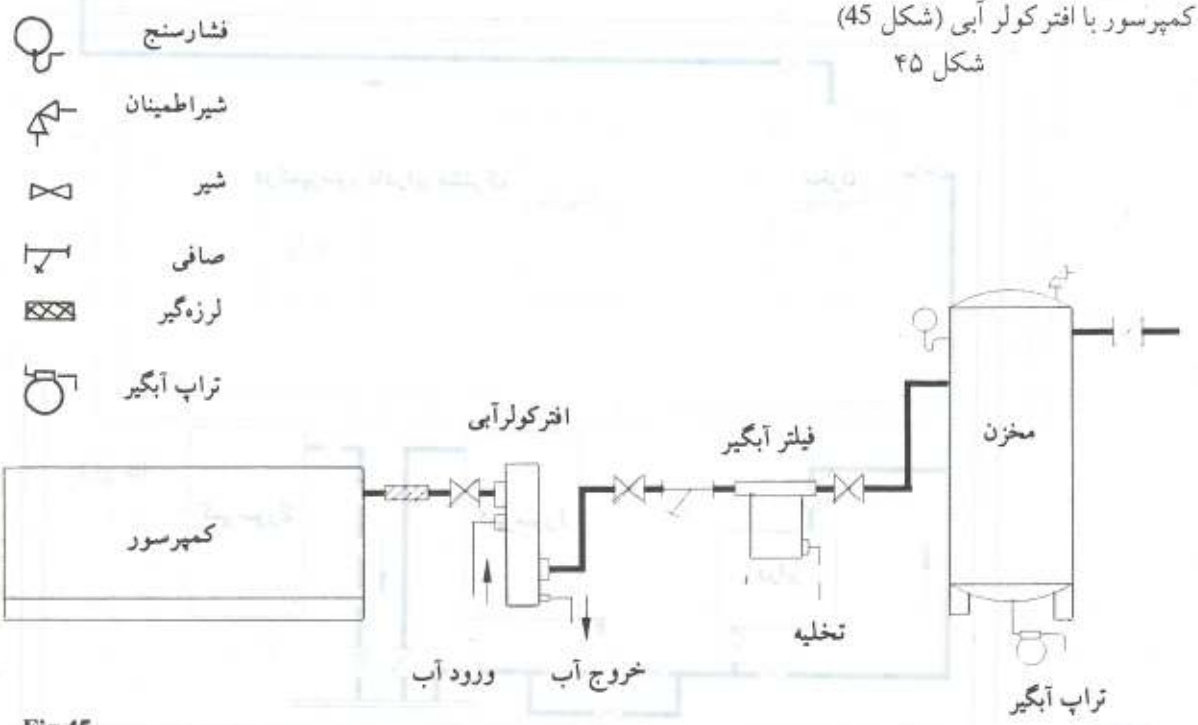


Fig 45

2- یک کمپرسور با افترکولر هوائی (شکل 46)

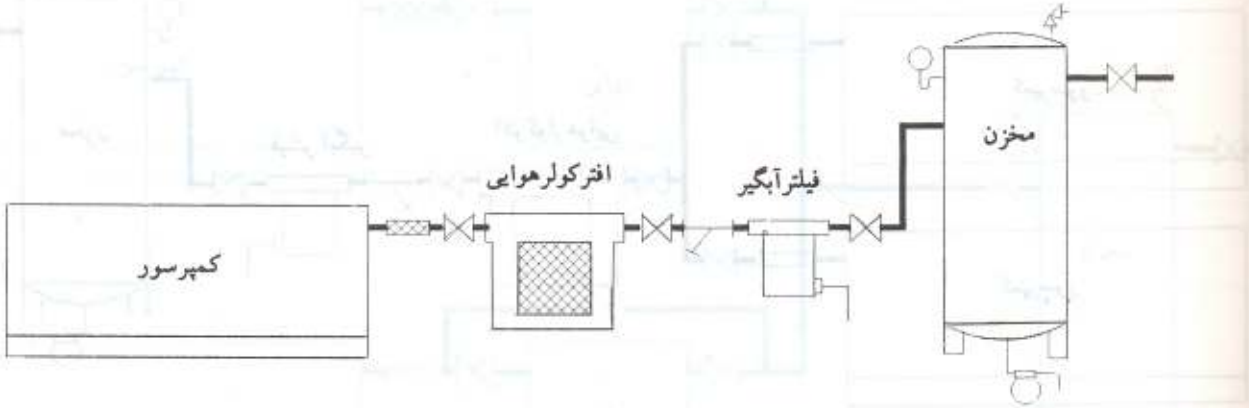


Fig 46

3- دو کمپرسور با افترکولر آبی (شکل 47)
شیر 1 می‌تواند نباشد .

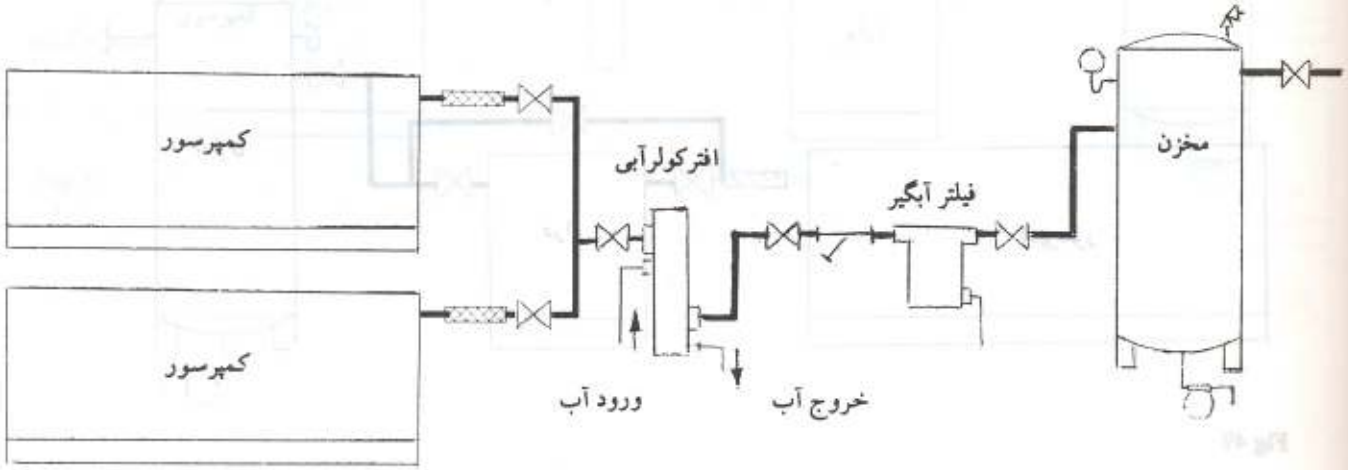


Fig 47

4- دو کمپرسور با افترکولر هوائی (شکل 48)
شیر 1 می‌تواند نباشد.

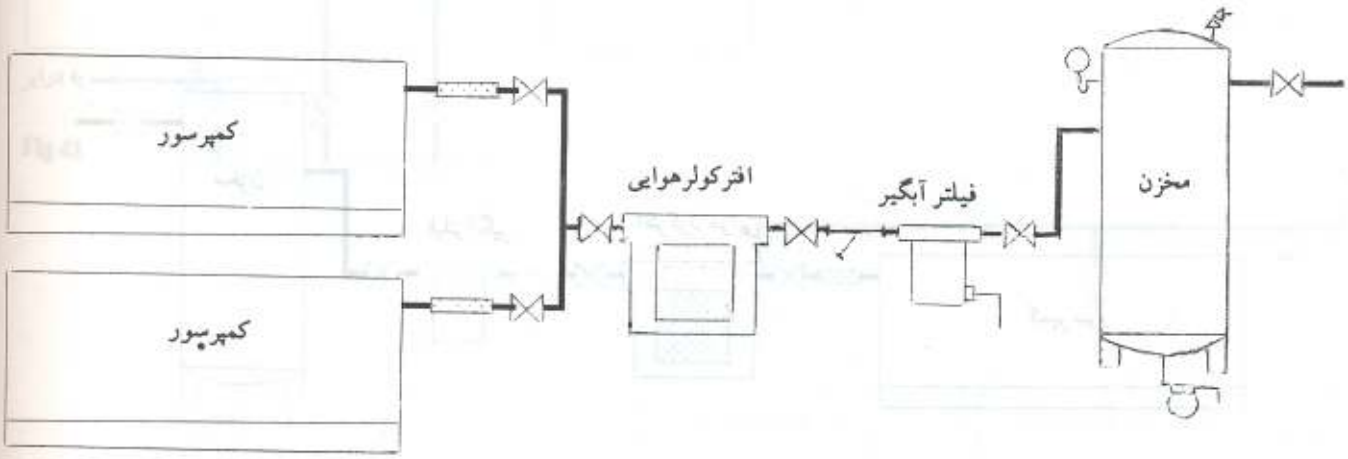


Fig 48

5- یک کمپرسور بادرایر (شکل 49)

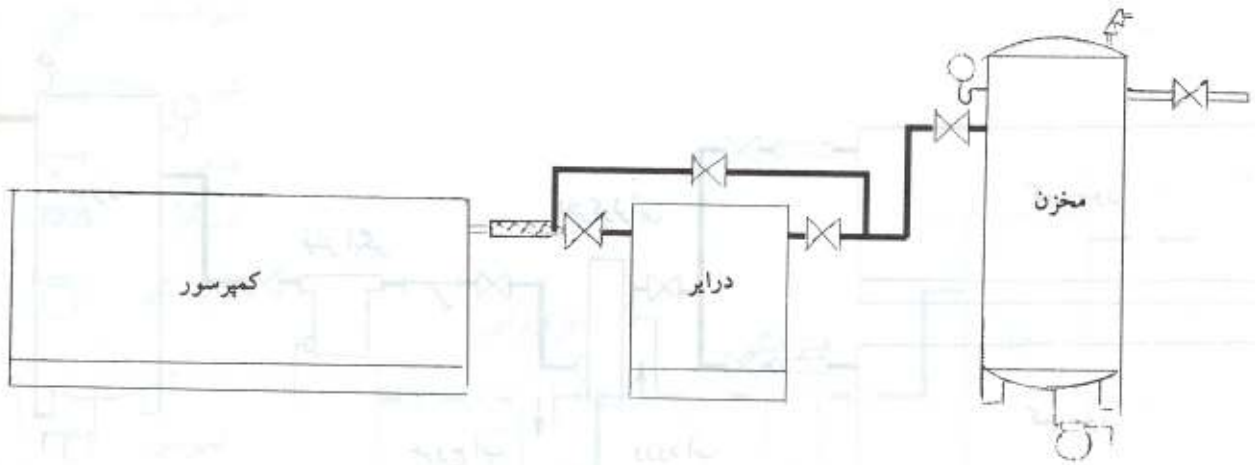


Fig 49

6- دو کمپرسور با درایرهای مستقل (شکل 50)
می‌توان بعد از کمپرسور و قبل از درایر فیلتر آب و روغن نصب نمود. شکل (51)

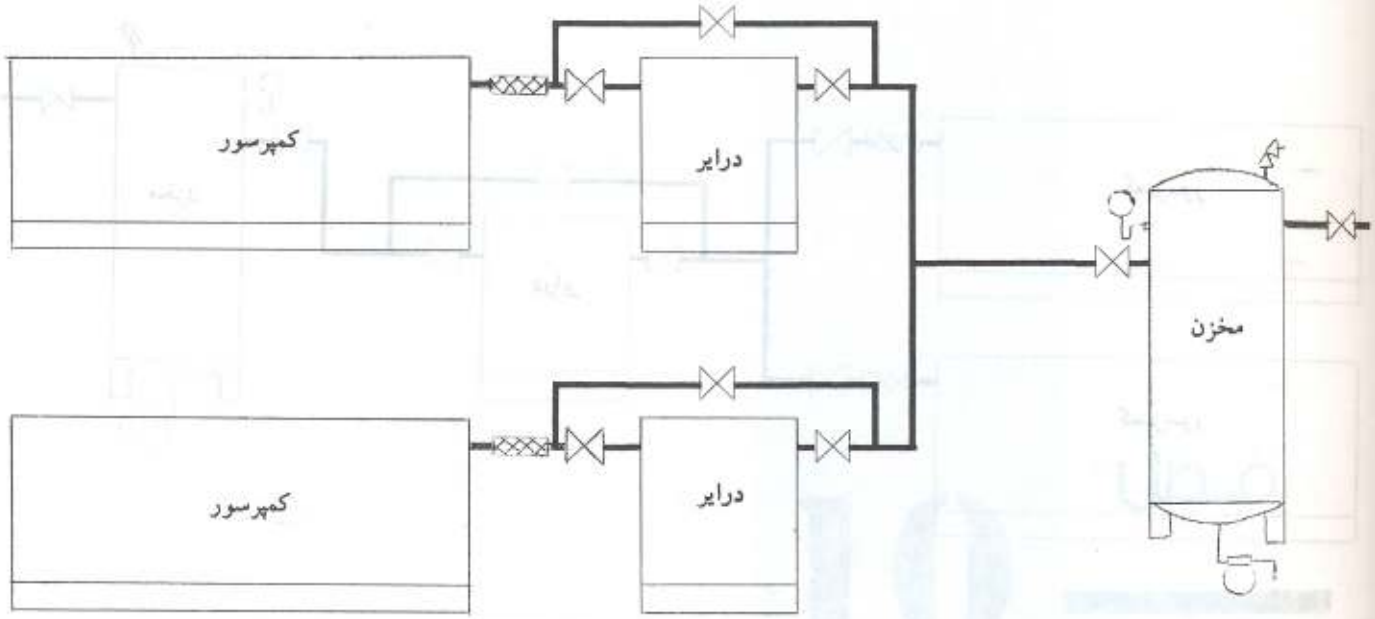


Fig 50

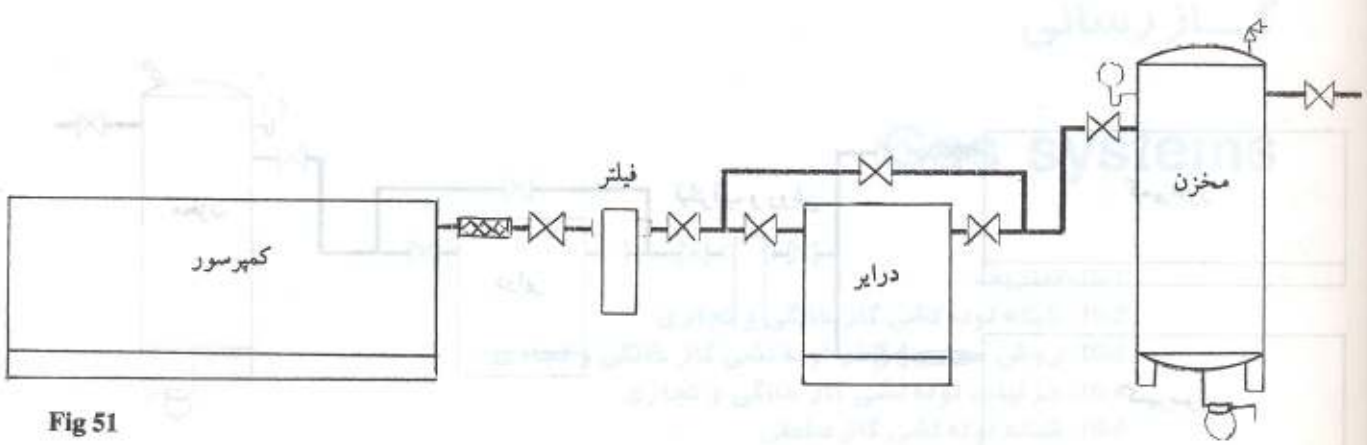


Fig 51

7- دو کمپرسور با یک درایر (شکل 52)
می‌توان بعد از دو کمپرسور فیلتر روغن و آب نصب کرد شکل (53).

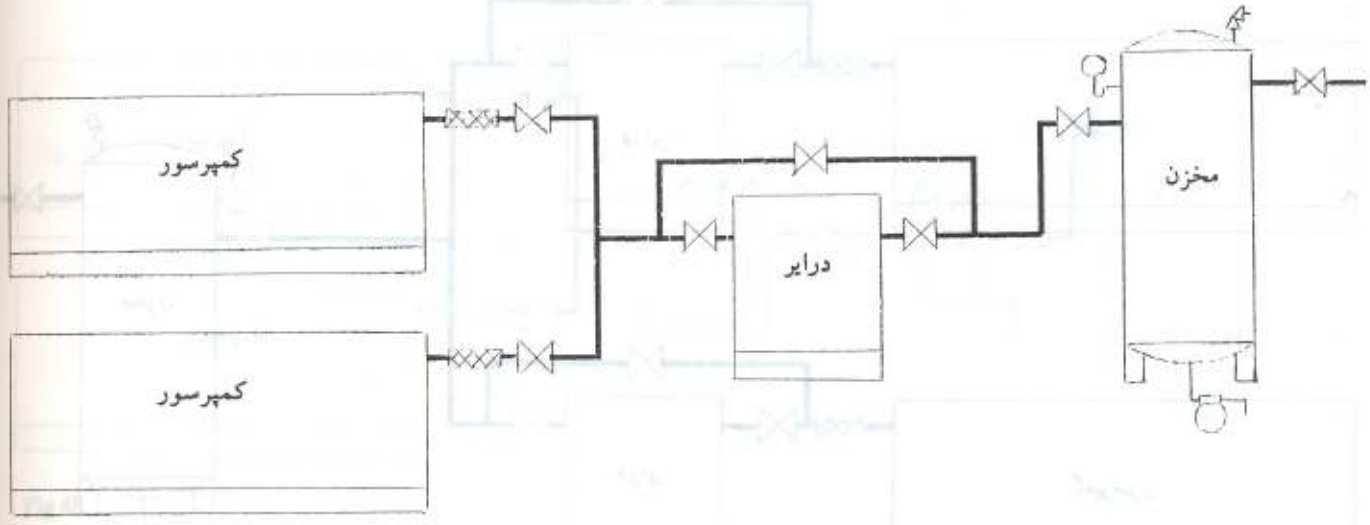


Fig 52

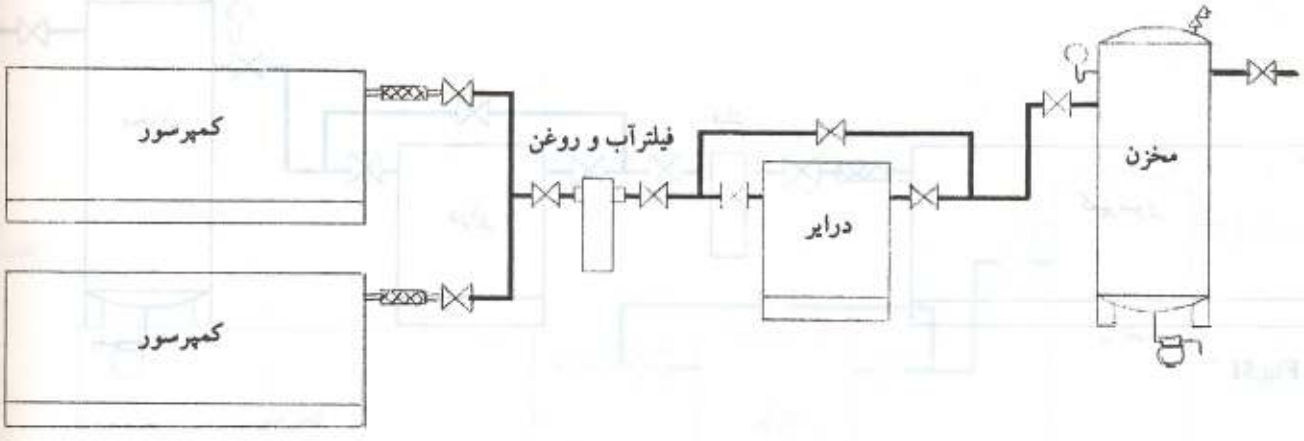


Fig 53