

مقدمه:

علم پنوماتیک شاخه ای از رشته مکانیک سیالات است که کاربرد زیادی در صنایع دارد پنوماتیک یعنی استفاده از هوای فشرده . این علم در دهه شصت میلادی گسترش چشم گیری در صنایع پیدا کرد که هم اکنون هم از جایگاه ویژه ای برخوردار است و در اکثر صنایع مانند نفت و گاز و پتروشیمی - صنایع هوایی - صنایع فولاد کاغذسازی صنایع چوب و کارخانه قند و غیره کاربرد داشته و دارد. بسیاری از فرآیندهای صنایع طراحی اولیه شان بر اساس پنوماتیک بوده و سیستم های کنترلی آنها پنوماتیکی بود که با گسترش و پیشرفت هیدرولیک و علم الکترونیک و کاربرد روز افزون آنها در صنعت سیستم های کنترل به سیستم های مدرن و پیشرفته فعلی ارتقا پیدا کردند .

از مزیت های پنوماتیک به ایمنی بالا و بی خطر بودن و آلودگی کمتر آن اشاره داشت ولی از معایب آن داشتن هزینه بالا جهت تولید و هزینه بالای ابزار های بادی و سرعت کم آن در مقایسه با الکترونیک و قدرت و فشار پایین آن در مقایسه با هیدرولیک می توان بیان نمود.

در پنوماتیک هوا به عنوان سیال تراکم پذیر تلقی شده و بر پایه مفاهیم و قوانین فیزیکی و ترمودینامیکی مورد استفاده قرار می گیرد. و برای تولید هوای فشرده در صنعت به کمپرسور های صنعتی نیازمندیم که به ما هم فیزیکی و تئوری کمپرسور ها لازم است مروری اجمالی اشاره ای داشته باشیم:

## مفاهیم فیزیکی

### دستگاه و محیط

در بررسی مسایل فیزیک از جمله علم ترمودینامیک معمولا توجه خود را به بخش خاصی از جهان معطوف می کنیم و بطور حقیقی یا فرضی آن را از آن چه در اطرافش قرار دارد جدا می کنیم . این بخش را دستگاه و سایر جسم هایی را که در اطراف آن قرار دارند و روی رفتار آن موثرند محیط می نامیم .

برای مثال اگر مقداری گاز را داخل سیلندری قرار داده و دهانه ی آن را با پیستون مسدود کنیم گاز درون سیلندر که رفتار آن مورد بررسی قرار می گیرد دستگاه و پیستون و سیلندر و هوای خارج که بر رفتار گاز موثرند (برای مثال دما و یا فشار آن را تغییر می دهند ) محیط گاز هستند .

**اندازه گیری:** فیزیک مجموعه ای است از اندازه گیری ها و رابطه های بین نتیجه های آن ها که نظریه ها و قوانین فیزیک را می سازند. اینکه می گویند: فیزیک علم اندازه گیری است در حقیقت اهمیت موضوع اندازه گیری را نشان می دهد .

### یکای (واحد) اندازه گیری

دانشمندان برای آن که رقم های حاصل از اندازه گیری های مختلف یک کمیت باهم مقایسه پذیر باشند در نشست های بین المللی توافق کرده اند که برای هر کمیت یکای معینی تعریف کنند. یکای هر کمیت باید به گونه ای انتخاب شود که در شرایط فیزیکی تعیین شده تغییر نکند و در دسترس باشد. مجموعه یکاهای مورد توافق بین المللی را به اختصار یکاهای

SI (SYSTEM INTERNATIONAL) می نامند

### کمیت های میکروسکوپی و ماکروسکوپی

کمیت هایی نظیر سرعت مکان شتاب هر ذره و نیروی بین ذره ها که وضعیت تک تک ذره های سازنده ی یک ماده را توصیف می کنند کمیت های میکروسکوپی نامیده می شوند و کمیت هایی مانند فشار حجم دما و گرما که وضعیت ماده را در مقیاس بزرگ توصیف می کنند و به جزئیات رفتار تک تک ذرات کاری ندارند کمیت های ماکروسکوپی نامیده می شوند . علم ترمودینامیک رفتار ماده را بر حسب کمیت های ماکروسکوپی توصیف می کند.

### AIR هوا:

هوا گازی بدون مزه و بو است . واز گاز های گوناگونی مانند %۷۸.۰۹ نیتروژن - %۱۲۰.۹۵ اکسیژن - %۰.۹۳ آرگون و %۰.۰۳ سایر گازها تشکیل شده است

### فشار : PRESSURE

فشار اساسا یک موضوع مکانیکی است و در سیالها عموما بر اثر برخورد مولکولهای یک گاز یا مایع با اطرافشان به خصوص دیواره ظرف محتوی آنها بوجود می آید .

بنا به تعریف نیرویی که بطور عمود بر واحد سطح یک جسم وارد می شود فشار نامیده می شود و با P نمایش می دهند و دارای واحد های زیر می باشد : پاسکال - بار - نیوتن بر متر مربع - کیلوگرم نیرو بر سانتی متر مربع و.....

رابطه آن عبارت است از:  $P = \frac{F}{A}$  که در آن

F نیرو بر حسب نیوتن

A سطح مقطع بر حسب مترمربع

P فشار بر حسب نیوتن بر متر مربع

$MT^{-1}L^{-2}$  : دیمانسیون فشار می باشد

تذکر: کمیت های فیزیکی بر اساس نوع یکای آن ها به دو دسته اصلی و فرعی تقسیم می شوند کمیت هایی مانند جرم \_ طول \_ زمان دما شدت نور - شدت جریان الکتریکی کمیت اصلی ویکاهای آن ها را یکاهای اصلی می نامند. سایر کمیت ها از قبیل مساحت و حجم و فشار و..... کمیت فرعی نام دارند

در جدول زیر واحد های دیگر فشار آمده است :

Psi	Atmosphere	Kgf.sqcm	In.H2o	mm.Hg	In.Hg	Kpa	Bar
1	0.6804	0.07031	27.70	51.71	2.036	6.895	0.0689
14.696	1	1.0333	407.2	760	29.92	101.325	1.0132
14.22	0.9678	1	394.0	735.5	28.96	98.067	0.9806
0.03610	0.002465	0.0002538	1	1.867	0.07349	0.2489	2.487*10-3
0.1934	0.001316	0.001360	0.5367	1	0.03937	0.1333	0.00133
0.4912	0.003342	0.03453	13.61	25.40	1	3.387	0.03386
0.1450	0.00987	0.010197	4.0186	7.5006	0.2953	1	0.01
14.504	0.98692	1.0197	402.09	751.879	29.53	100	1

### واکیوم (خلای)

خلای تعریف دقیقی ندارد ولیکن فشار زیر فشار اتمسفر (جو) را می گویند .

به عبارت دیگر اگر بزرگی نیروی وارد بر دیواره یک ظرف محتوی گاز بقدری کوچک باشد که تنها از روشهای غیر مستقیم بتوان آن را اندازه گرفت در آن هنگام با خلای سروکار داریم .

این فشار دارای علامت منفی بوده و اغلب دارای اندازه ۰-۱ بار و ۰الی۷۶سانتیمتر جیوه ویا ۰الی۷۶۰میلیمتر می باشد.

### Gage Pressure فشار پیمانه

فشار بالای فشار اتمسفر را گویند

- میدانیم که مبنای نقطه صفر اکثر گیج های فشار که به کار می رود فشار اتمسفر است و فشاری که چنین گیج هایی نشان می دهند را اصطلاحاً فشار پیمانه ای می گویند .

## فشار مطلق (ABSOLUTE PRESSURE)

اگر مبنای اندازه گیری را خلاکامل در نظر بگیریم یعنی فشار صفر مطلق اصطلاحاً این فشار را فشار مطلق می گویند

فشار اتمسفر + فشار پیمانه ای = فشار مطلق

وسیله که فشار مطلق را اندازه گیری می کند بارومتر نامیده می شود.

فشارسنج ها اختلاف بین فشار سیستم و فشار محلی اتمسفریک را بیان می کند. یعنی آنها فشار نسبی یا موثر سیستم را نشان می دهند و نه فشار مطلق .

در تمام تئوریه ها و محاسبات مربوطه به کمپرسورها و بازار بادی فشار مطلق بکار می رود.

## - دما یا درجه حرارت (TEMPERATURE)

درجه گرمی و یا سردی یک جسم را دمای آن جسم گویند . به طور فیزیکی درجه حرارت شاخصی از انرژی جنبشی مولکولهای تشکیل دهنده جسم بوده

که با افزایش سرعت مولکول ها دما هم زیاد می شود . یعنی دمای هر جسم متناسب است با انرژی جنبشی متوسط مولکول های سازنده آن.

دما دارای واحد های سانتیگراد - کلوین و فارنهایت است.

دما برحسب سلیسیوس را معمولاً با  $(^{\circ}\text{C})$  نشان می دهند که در آن نقطه انجماد آب را به عنوان صفر و نقطه جوش آن را به عنوان ۱۰۰ در نظر می گیرند و بین آن را در دماسنج به صد قسمت مساوی تقسیم و برای اندازه گیری دما بکار می برند . در SI کلوین را با  $^{\circ}\text{K}$  نمایش می دهند و  $T$  نمایش می دهند. در مقیاس کلوین طول هر درجه با مقیاس سلیسیوس مساوی است. صفر کلوین تقریباً برابر ۲۷۳- درجه سلیسیوس است .

رابطه تبدیل دما از مقیاس سلیسیوس به کلوین مورد استفاده قرار می گیرد .

در درجه بندی فارنهایت نقطه انجماد آب را ۳۲ و نقطه جوش آب را ۲۱۲ در نظر گرفته و در دماسنج با مقیاس فارنهایت مابین آن را به ۱۸۰ قسمت تقسیم می کنند .

$$\frac{F-32}{180} = \frac{^{\circ}\text{C}}{100}$$

رابطه تبدیل سلیسیوس به فارنهایت  $^{\circ}\text{F}$  است

## VOLUME حجم

حجم یک ماده میزان فضایی است که آن را اشغال می نماید . چون گاز تمام فضای یک محیط بسته را اشغال می نماید لذا حجم آن برابر حجم آن فضا خواهد شد. میزان جرم گاز با تغییرات فشار و درجه حرارت تغییر خواهد نمود.

## گرما HEAT

انرژی که در اثر وجود اختلاف دما بین دو جسم (سرد و گرم) از یکی به دیگری منتقل می شود گرما نامیده می شود و آن را با نماد  $Q$  نشان می دهند

مقدار گرمایی که باید به  $m$  کیلوگرم از یک جسم بدهیم تا به اندازه  $\Delta\theta$  درجه سلسیوس گرم شود برابر است:

$$Q = mC\Delta T$$

### ظرفیت گرمایی ویژه

$C$  مقدار گرمایی است که به یک سیستم داده می شود تا درجه حرارت یک واحد جرم آن به اندازه یک درجه حرارت کلونین بالا رود.

$C_p$  ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت و  $C_v$  ظرفیت گرمایی ویژه در حجم ثابت است .

برای اکثر مواد مقدار  $C_p$  بزرگتر از مقدار  $C_v$  است و برای مایعات و جامدات مقدار آنها برابر می باشد.

### کار WORK

کار مکانیکی حاصل ضرب نیرو در مسافتی که عمل می نماید می باشد .

برای مثال در یک تراکم گاز در یک سیلندر میزان کار انجام شده در مسافت طی شده توسط پیستون می باشد. نیروی وارده بر پیستون عمل تراکم را انجام می دهد و در نتیجه انتقال انرژی از پیستون به گاز خواهد بود. در SI آن زول است.

### توان POWER (قدرت)

کار انجام شده در واحد زمان را توان گویند و در SI یکای آن وات یا ژول بر ثانیه است

توان ورودی به محور کمپرسور یا پمپ از لحاظ عددی برابر حرارت حذف شده از سیستم به اضافه انرژی تخلیه شده توسط سیال خروجی است .

### انتقال حرارت: HEAT TRANSFER

در اثر هر اختلاف درجه حرارت در جسم یا بین دو سطح انتقال حرارت تا حصول تعادل درجه حرارت وجود خواهد داشت . به سه طریق این انتقال حرارت صورت خواهد پذیرفت :

- هدایتی

- جابجایی

- تشعشعی

**تذکر:** در انتقال به روش جابجایی انتقال به صورت آزاد و اجباری انجام می گیرد. در انتقال آزاد به سبب اختلاف دانسیته ناشی از اختلاف دما انتقال حرارت انجام می گیرد در انتقال حرارت جابجایی از یک فن و یا پمپ استفاده می شود.

### AIR هوا:

هوا گازی بدون رنگ، مزه و بو است . واز گاز های گوناگونی مانند:

۷۸.۰۹٪ نیتروژن

۲۰.۹۵٪ اکسیژن

۰.۹۳٪ آرگون و

۰.۰۳٪

سایر گازها تشکیل شده است

## ترمودینامیک THERMODYNAMICS

فرض کنید مقداری گاز را به عنوان دستگاه انتخاب کرده و می خواهیم رفتار آن را مورد بررسی قرار دهیم. برای آن که حالت این دستگاه را مشخص کنیم باید از سه کمیت فشار، حجم و دما استفاده کنیم. بین این کمیت ها که متغیرهای ترمودینامیکی نام دارند. همواره رابطه ای وجود دارد که معادله ی حالت نامیده می شود. این معادله برای گازهای بسیار رقیق که به آنها گاز کامل گفته می شود. به صورت زیر است:

$$PV=nRT$$

در این رابطه  $R$  ضریب ثابت گازها و  $n$  تعداد مولهای تشکیل دهنده ی گاز است

$$n=\frac{m}{M}$$

### قانون اول ترمودینامیک

این قانون همان قانون پایستگی (بقای) انرژی است که در مورد فرآیندهای ترمودینامیکی به کار می رود مطابق این قانون تغییرات انرژی درونی یک دستگاه برابر جمع جبری کار و گرمای داده شده به دستگاه است یعنی :

$$\Delta U=Q+W$$

گرمای مبادله شده بین دستگاه و محیط از رابطه

$$Q=mc\Delta T$$

به دست می آید

توجه داشته باشید در رابطه بالا دما بایستی حتما بر حسب کلوین باشد اما یکاهای فشار و حجم هر چه باشد ایرادی ندارد. البته به شرطی که یکاهادر دو طرف رابطه یکسان باشند. و فشار هم فشار مطلق در نظر گرفته شود .

### قانون بویل - ماریوت

در بسیاری از فرآیندها حجم گاز تغییر می کند دمای آن ثابت است

$$P_1V_1=P_2V_2$$

یعنی اگر دما ثابت باشد حاصلضرب فشار در حجم ثابت خواهد ماند. یعنی اگر حجم کاهش (افزایش) یابد فشار افزایش (کاهش) خواهد شد .

مثال : اگر در دمای ثابت حجم گاز گاملی را چند درصد افزایش دهیم تا فشار آن ۲۰ درصد کم شود؟

۱۵ (۱)      ۲۰ (۲)      ۲۵ (۳)      ۳۰ (۴)

جواب:  $\frac{\Delta V}{V_1} \times 100 = 25\%$        $V_2 = 1/25 V_1$        $P_1 V_1 = 0/8 P_1 V_2$        $P_1 V_1 = P_2 V_2$

مثال: اگر در دمای ثابت حجم مقدار معینی گاز کامل را نصف کنیم فشار آن چند برابر می شود؟

۲ (۱)       $\sqrt{2}$  (۲)       $\sqrt{2}/2$  (۳)       $1/2$  (۴)

$P_2 = 2P_1$        $P_1 V_1 = P_2 \times \frac{V}{2}$        $P_1 V_1 = P_2 V_2$

### قانون شارل-گیلوساک

در بعضی از فرآیندهای خاص در گازها مقدار فشار تغییر نمی کند. یعنی

$$P_1 = P_2 \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

این رابطه نشان می دهد که وقتی فشار ثابت است. حجم گاز با دمای مطلق آن نسبت مستقیم دارد.

مثال: اگر دمای ۱۰ متر مکعب از یک گاز ایده آل از دمای ۱۵ درجه سانتیگراد به ۴۴ درجه سانتیگراد در فشار ثابت افزایش یابد حجم ثانویه چقدر خواهد بود.

$$T_1 = 15 + 273 = 288 \text{ K}$$

$$T = 44 + 273 = 317 \text{ K}$$

$$\frac{10}{288} = \frac{V_2}{317}$$

$$V_2 = \frac{10 \times 317}{288} = 11 \text{ m}^3$$

### (AMONTON) قانون آمونتون

اگر حجم گازی را ثابت نگه داریم و به آن گرما بدهیم فشار آن همراه با دما افزایش می یابد.

$$V_1 = V_2 \quad \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

تناسب بالا نشان می دهد که در حجم ثابت فشار گاز کامل با دمای مطلق آن نسبت مستقیم دارد.

مثال: فشار مخزن گازی با حجم ثابت در دمای ۲۷ درجه ی سلسیوس برابر ۳ اتمسفر است . فشار این در دمای ۱۲۷ درجه سلسیوس چند اتمسفر است ؟

$$4(1) \quad 3(2) \quad 4/5(3) \quad 5(4)$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad \frac{3}{273+27} = \frac{P_2}{273+127} \quad P_2=4 \text{ atm}$$

مثال: فشار گاز درون یک مخزن با حجم ثابت در دمای ۲۷ درجه ی سلسیوس برابر ۶ اتمسفر است . فشار همان گاز در دمای ۷۷ درجه سلسیوس در آن مخزن چقدر است :

$$7(1) \quad 14(2) \quad 17(3) \quad 28(4)$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad \frac{6}{273+27} = \frac{P_2}{273+77}$$

$$P_2=7 \text{ atm}$$

### قانون گازها

گازها نیز مانند مایع ها و جامد ها با زیاد شدن دم افزایش حجم پیدا می کنند اگر بخواهیم این افزایش حجم صورت نگیرد باید فشار بیش تری بر گاز وارد کنیم. بنا بر این علاوه بر دما فشار نیز بر حجم گاز ها موثر است. یعنی کسر

$$\frac{PV}{T} = \text{مقداری ثابت}$$

### شرایط بحرانی

در درجه حرارتی که بالای آن دیگر گاز در اثر ازدیاد فشار تبدیل به مایع نمی گردد به آن درجه حرارت بحرانی می گویند.

فشار لازم برای تقطیر شدن یک گاز در درجه حرارت بحرانی را فشار بحرانی گویند.

برای هوا این دمای بحرانی ۱۴۰- سلسیوس و فشار بحرانی ۳۷.۶

### ضریب تراکم پذیری

در فشار و دماهای بالا همچنین در نواحی نزدیک نقطه بحرانی که گاز به مایع تبدیل می گردد تغییراتی در رابطه P-V-T واقع می

$$\frac{PV}{R.T} = Z$$

شود و رابطه با یک ضریب تراکم بیان می شود

ضریب تراکم بطور تجربی تعیین شده و نمودار آن بر حسب تغییرات فشار در خط دمای ثابت رسم می گردد.



## فرآیند های خاص ترمودینامیک

در ترمودینامیک بین دو حالت مشخص فرآیند های متفاوتی می تواند رخ بدهد . در بین این فرایندها فرایندهای خاصی وجود دارند که کاربرد آن ها وسیع تر است از جمله : فرایند هم حجم - فرایند هم فشار - فرایند هم دما و فرآیند بی دررو. در ادامه به توصیف این فرایندها می پردازیم . پیش از شروع توجه داشته باشید که در تمام فرایندها فرض ما بر این است که تعداد مولکولهای گاز ثابت است یعنی گازی از مخزن خارج نشده و گازی نیز به مخزن وارد نمی شود

فرایند بی دررو را فرایند آنتروپی ثابت هم می گویند که در آن فرایند بدون انتقال حرارت انجام می گیرد. در واقعیت فرایند تراکم در کمپرسورها بین فرایند دما ثابت و آنتروپی ثابت انجام می گیرد که به آن فرایند پلی تروپیک می گویند .

## فرآیند هم فشار : Isobar

فشار در حین این فرایند ثابت می ماند . به عنوان مثالی از این فرایند ، در نظر بگیرید که مقداری گاز درون استوانه ای که دهانه ی آن با پیستونی بسته شده قرار دارد . پیستون بی حرکت است و اصطکاک آن با بدنه ی داخلی استوانه ناچیز است . چون پیستون ساکن است فشار گاز (P) با فشار هوای محیط ( $P_{atm}$ ) برابر است. اکنون اگر به آرامی مقدار کمی گرما از گاز داخل استوانه بگیریم یا به آن کمی گرما بدهیم . گاز به آرامی متراکم یا منبسط می شود و پیستون بسیار آهسته حرکت می کند . در این حالت می توان گفت که شتاب حرکت پیستون برابر صفر است . در نتیجه برآیند نیرو های وارد بر پیستون برابر صفر خواهد بود . یعنی فشار گاز همواره با فشار محیط برابر است . یعنی حین فرایند فشار گاز ثابت می ماند

گرمای مبادله شده در این فرایند از رابطه  $Q = nC_p \Delta T$  بدست می آید.

در شکل های زیر نمودار های مربوط به فرایند هم فشار نشان داده شده است .

## فرایند هم حجم Isochor

حجم گاز در حین فرایند ثابت نگه داشته می شود در فرآیند هم حجم چون حجم ثابت است (پیستون جابجا نمی شود) کار انجام شده صفر است و گاز فقط می تواند با محیط تبادل گرما کند اگر گاز از محیط گرما دریافت کند ( $Q > 0$ ) دمای دستگاه افزایش یافته و فشار آن نیز افزایش می یابد و اگر گاز به محیط گرما دهد ( $Q < 0$ ) دمای دستگاه کاهش یافته و فشار آن نیز کاهش می یابد. زیرا بنا به رابطه  $P = \left(\frac{nR}{V}\right)T$  با توجه به ثابت بودن عبارت داخل پرانتز فشار گاز در این فرایند با دمای مطلق آن رابطه مستقیم دارد.

گرمای مبادله شده در این فرایند از رابطه  $Q = nMC_v\Delta T$  بدست می آید.

در شکل های زیر نمودارهای مختلف مربوط به فرایند های هم حجم نشان داده شده است :

## . فرایند هم دما: isotherm

دمای دستگاه در حین این فرایند ثابت می ماند . برای انجام یک فرایند هم دما دستگاهی مانند شکل

روبرورا که با یک منبع گرما در تماس است در نظر بگیرید . در ابتدا گاز در حالت تعادل است و دمای

آن با دمای منبع گرما برابر است . گاز را اندکی متراکم می کنیم در نتیجه دمای گاز بر اثر تراکم افزایش می یابد و دمای منبع گرما بیشتر می شود . به علت این اختلاف دما گاز اندکی گرما از دست می دهد تا دمای منبع و گاز یکسان شود . اگر فرایند متراکم کردن گاز به آهستگی ادامه دهیم . دمای گاز در طول تحول تغییر نخواهد کرد و فرایند به صورت هم دما انجام خواهد شد . در شکل های زیر نمودار مربوط به این فرایند نشان داده شده است :

## تئوری کمپرسورهای هوا

تئوری سیکل عمل کرد یک کمپرسور از مطالعه کمپرسور رفت و برگشتی بدون هیچگونه افتی مشخص می گردد. فرض می گردد حرکت پیستون در سیلندر بدون اصطکاک انجام می گردد. تخلیه هوا به واسطه سیلندر بدون مقاومت در شیرها و کانال ها فرض می شود و مفهوم آن این است که تغییر در فشار وجود ندارد. زمانی که پیستون در انتهای پایین سیلندر قرار دارد تمام فضای سیلندر را هوا اشغال می کند.

در شکل A-16 نمودار P-V برای کمپرسور بدون هیچ گونه افت نشان داده شده است. در نقطه ۱ پیستون در شروع حرکت خود بوده و فشار اتمسفر  $P_1$  در داخل سیلندر می باشد. پس از اتمام حرکت پیستون به طرف بالا (نقطه ۲) فشار  $P_1$  در لوله تخلیه ایجاد می گردد. نقطه ۲ به ۳ هوا به لوله به لوله تخلیه انتقال می یابد (تحت فشار ثابت). در برگشت پیستون به طرف پایین، فشار داخل سیلندر برابر فشار اتمسفر  $P_1$  گردیده است و هوا تحت فشار ثابت به داخل سیلندر مکیده می شود. (خط ۴ به ۱) منحنی ۱ به ۲ مرحله تراکم و خط ۴ به ۱ مرحله مکش نامیده می شوند.

## کار

مساحت نمودار نشان در A-16 نمایانگر کار انجام شده در طی فرآیند تراکم می باشد.

مساحت ۱-۲-۳-۴-۵-۶ کار انجام شده در طی تراکم گاز و مساحت ۶-۵-۴-۳-۲-۱ کار انجام شده در خارج نمودن گاز از سیلندر و مساحت ۴-۵-۶-۷-۸ کار انجام یافته در طی مکش هوای اتمسفریک می باشد.

علامت دو کار انجام شده اولی منفی و سومی مثبت می باشد. بنابراین کار انجام شده در طی سیکل تراکم در نمودار از کم کردن مجموع دو کار اول و دوم از سوم بدست می آید.

## تراکم چند مرحله ایی

در این نوع از فرآیند برای حداقل نمودن مصرف انرژی بایستی تا حد امکان فرآیند تراکم نزدیک به فرآیند دما ثابت باشد. بنا بر این کمپرسورهای بزرگ از لحاظ توجیه اقتصادی با خنک کن آبی در اطراف سیلندر ساخته می شوند.

اما امروزه در کمپرسور با سرعت بالا مجال به خنک شدن گاز در طی تراکم داده نمی شود. آب خنک کن تنها مقدار کمی بیشتر از مقدار حرارت تولید شده توسط اصطکاک رینگهای پیستون با سیلندر را جذب می نماید. تغییر شرایط تقریباً نزدیک فرآیند آدیاباتیک می باشد. به منظور نزدیک شدن تراکم به فرآیند دما ثابت بهتر است تراکم در دو مرحله انجام شده و هوای فشرده مابین دو مرحله در یک خنک کن میانی خنک گردد. از نظر تئوری حداکثر قدرت بهینه زمانی است که انرژی تراکم در هر مرحله تراکم مساوی باشد.

در شکل A-19 نمودار P-V یک کمپرسور دو مرحله ای بدون در نظر گرفتن هیچ گونه افت و تراکم آدیاباتیک در نظر گرفته شده است.

هوای فشرده شده در مرحله اول تراکم در یک خنک کن میانی تا دمای هوای مکش مرحله اول خنک شده وارد مرحله دوم تراکم می گردد.

اگر فشار در مرحله خنک کن میانی برابر  $\sqrt{P_1 P_2}$  گردد آنگاه انرژی تراکم در دو مرحله یکسان خواهد بود.

فشار ورودی ۱ اتمسفر و فشار خروجی ۸ اتمسفر مطلق می باشند . مساحت نمودار a-m-n-u-a میزان کار سیلندر فشار پایین نشان می دهد.

SL کورس پیستون از نقطه m (برروی آدیاباتیک) به ۲ (بر روی منحنی ایزو ترمال ) هوای مرحله اول تراکم خنک می گردد.

مساحت ۲-t-e-n-t میزان کار انجام شده در سیلندر فشار بالا را نشان می دهد که کورس پیستون SH می باشد. مساحت m-r-t-b-m میزان

انرژی ذخیره شده را نشان می دهد. مثلا برای شکل نشان داده شده این ذخیره انرژی حدود ۱۵ درصد می باشد. به همان ترتیب اگر فرآیند تراکم مرحله دوم به صورت دما ثابت بود میزان ذخیره انرژی ۲۷ درصد می گردید. اگر کل تراکم در سه مرحله انجام می شد میزان انرژی ذخیره شده ۴ درصد علاوه بر ۱۵ درصد میشود . برای فشار نهایی ۸ بار مطلق از نظر اقتصادی نصب سه مرحله تراکم مقرون به صرفه نمی باشد

مزیت دیگر استفاده از کمپرسور چند مرحله ای در پایین بودن دمای نهایی گاز در انتهای هر مرحله تراکم میباشد.

مثلا اگر گاز در یک مرحله متراکم می شد دمای نهایی ۲۶۳ درجه سانتیگراد ولی برای دو مرحله تراکم دمای نهایی ۱۲۰ درجه سانتیگراد میگردد.

## شبکه توزیع هوای فشرده:

یک سیستم کامل هوای فشرده شامل سه جز اصلی است:

۱-دستگاه کمپرسور وتاسیسات جانبی آن شامل خشک کن ،مخزن وفیلتر

۲-شبکه لوله کشی توزیع هوای فشرده

۳-خطوط سرویس منتهی به نقاط مصرف

بافرض اینکه دستگاه کمپرسور صحیح انتخاب ونصب شده باشد. باوجود این ممکن است سایر اجزای سیستم در وضعیت مناسب نباشند، در یک بررسی کلی در مورد بعضی صنعت بزرگ این واقعیت آشکار گردید که ۷۰٪تاسیسات آنها دارای نواقص اساسی می باشند. بطوریکه از کل ابزار های بادی که در این صنایع بکار می رفتند ۷۰٪کمتر از ظرفیت خود بکار گرفته می شوند.

سیستم توزیع هوای فشرده ممکن است بدلیل طراحی اشتباه ،ابعاد نادرست لوله کشی یانقص ملحقات خطوط لوله کشی ، نامناسب باشد. هر یک از این نواقص می تواند بر روی جریان هوای فشرده ورسیدن آن به نقطه مصرف تاثیر گذارد.

یکی دیگر از نامناسبی سیستم های پنوماتیک فعلی بهره برداری خیلی بیشتر از آنها بیش از ظرفیت طراحی شان است .وجود نشی در سیستم واستفاده نادرست از اجزای خطوط توزیع ونیز اندازه های نادرست باعث افت فشار وسبب کاهش فشار در میادی مصرف ودر نهایت منجر به نامناسبی سیستم هوا شود.

در ضمن کاهش واتلاف فشار باعث افزایش هزینه انرژی مصرفی وفرسایش وفرسودگی دستگاههای بادی خواهد شد.

وجودیک سیستم مناسب ودرست توزیع هوای فشرده می تواند اهداف زیر را تامین نماید:

-کاهش هزینه های مربوط به اتلاف انرژی

- افزایش راندمان وسایل وابزار پنوماتیکی

- افزایش قابلیت اطمینان از عملکرد دستگاه ها بدلیل تامین فشار بهینه ومورد نیاز آنها.

یک سیستم توزیع هوای فشرده شبیه یک زنجیر بوده که شامل کمپرسور ،خشک کن،فیلتر،شیرها،اتصالات،لوله کشی هاوشیلنگها ،واحد مراقبت ... می باشند ،هر کدام ازاین حلقه کارآیی ودوام کل سیستم را تعیین می کنند.

## مشخصات یک سیستم صحیح توزیع هوای فشرده

- کلیه نیاز های نقاط مصرف هوا را با حداقل اتلاف برآورده سازد
- دارای ظرفیت کافی برای طرح مورد نظر و توسعه و افزایش نقاط مصرف در آینده باشد

به منظور دستیابی به اهداف فوق بایستی شرایط زیر برقرار باشند:

- فشار هوای کافی در نقاط مصرف
  - حداقل نشستی هوا
  - ظرفیت کافی هوا
  - کیفیت مناسب هوا
  - طراحی مناسب خطوط لوله کشی
  - بازدهی کافی تجهیزات خطوط هوا
  - سیستم مناسب بر مبنای اصول علمی و صحیح
  - تامین فشار لازم باعث افزایش راندمان دستگاه و جلوگیری از فرسودگی آن خواهد داشت .
  - در سیستم مناسب توزیع هوای فشرده نشستی نباید از ۰.۵٪ ظرفیت اسمی آن باشد .
- هروسیله ای از هوای فشرده استفاده می کند یک کیفیت بخصوص از هوا را نیاز دارد که برای عملکرد بهتر آنها بایستی تامین شود .
- در سال های اخیر برای بهتر شدن کیفیت هوا با نصب خشک کن ها به همراه کمپرسورها تلاش مضاعفی صورت گرفته است.

نکات زیر برای طراحی شبکه توزیع هوا در نظر گرفته می شود :

- تمام عوامل مربوطه برای تعیین اندازه صحیح ابعاد محاسبه می شود
- طراحی صحیح مسیر خط لوله کشی با در نظر گرفتن طرح و توسعه دستگاهها در آینده مد نظر قرار می گیرد.
- مسیر خط لوله تا حد امکان یک حلقه بسته در نظر می گیرند
- در انتخاب صحیح جنس لوله و مصالح به منظور جلوگیری از خوردگی و ضایعات دقت می شود
- جهت جلوگیری از افت فشار در مسیر در انتخاب اتصالات و خروجیها دقت کافی شکل می گیرد

برای افزایش بازدهی به منظور کاهش اتلاف در ارتباط با افت های فشار و نشستی ها استفاده از تجهیزات خط هوا با کیفیت عال ضروری می باشد . انتخاب شیرها ، واحدهای مراقبت هوا ، لوله های لاستیکی و اتصالات ، با کیفیت خوب روشهایی هستند که در این راه موثرند.

برای کاهش هزینه ،اتلاف وقت در زمان تعمیر ونگهداری وتوقفات اطلاعات ونقشه ها تهیه ودر بایگانی در دسترس باشند.

برای تاسیسات جدید نصب شده ودر حال توسعه اطلاعات کافی تهیه وبررسی وبایگانی شود.

## برآورد لوله ها

نحوه تعیین ومحاسبه ابعاد لوله ها : ابعاد لوله بوسیله مراحل زیر تعیین می شود :

- الف تخمین وبرآورد جریان هوای لازم برای هر قسمت از شاه لوله هوا
- ب ( تخمین وبرآورد جریان چگونگی توزیع جریان هوا در خطوط توزیع
- با استفاده از مفروضات بند های بالادر محاسبه ابعاد در هنگام استفاده از نمودار افت فشار لوله

اگر طراحی سیستم توزیع هوای فشرده یک کارخانه تولیدی در نظر گرفته شود ،اولین قدم برآورد جریان هوا در شاه لوله هوای سیستم می باشد .

برای این کار تهیه جدولی مشابه DE-1 لازم است. جدولی که شامل مشخصات زیر است :

**قسمت هوا:** که مشخص کننده آن قسمت از هوا است که در محاسبات وارد می شود .

**مصرف کننده هوا:** کلیه نقاط مصرف هوا که از این قسمت مشخص شده تغذیه می شوند ، با در نظر گرفتن حتی مصرف کنندگان جزئی در لیست نوشته می شوند .

**مصرف هوا:** این اطلاعات از روی کاتالوگ هر مصرف کننده ،که توسط سازنده ارائه م شود جمع آوری می شود .

**تعداد:** مشخص کننده تعداد نقاط مصرف هوا با مصرف هوا وسطح بهره برداری یکسان می باشد.

**ضریب مصرف:** اینکه هر ابزار یا دستگاه در یک ساعت چند بار بکار گرفته می شود و سطح بهره برداری آن در طی یک ساعت در حالت کاری با ظرفیت تولید، با این عدد مشخص می گردد.

**جریان هوای مورد نیاز:** سطح بهره برداری X تعداد X مصرف هوا = جریان مورد نیاز



کل جریان هوای مورد نیاز : مقدار متوسط هوای لازم برحسب لیتر در ثانیه برای یک ساعت کار مفید می باشد.

مصرف لحظه ای هوا: در بعضی از تاسیسات ممکن است یک یا دو نقطه مصرف هوا با مصرف هوای بسیار زیاد ولی با سطح بهره برداری کم موجود باشد. در این حالتها کل جریان هوای مورد نیاز باید بنحوی تصحیح شود تا از افت های ناگهانی فشار در شبکه جلوگیری شود .

یک راه حل قراردادن یک مخزن ذخیره هوای جانبی است .

**فرسودگی :** در عمل پیش بینی ۰.۵٪ در رابطه با فرسودگی دستگاهها مناسب می باشد.

توسعه: در آینده معمولا تعداد مصرف کننده های هوا با نصب ابزار های بادی بزرگتر وبا سطح بهره برداری بیشتر مورد نیاز واقع می شود ، اگر هیچ اطلاعاتی در رابطه با توسعه کارخانه در آینده در دسترس نباشد . ابعاد لوله ها براساس یک افزایش مصرف هوا به میزان ۰.۳٪ بدست می آید .

بعدا از تهیه این جدول گام بعدی تخمین و برآوردگی چگونگی توزیع هوای فشرده در خطوط توزیع می باشد.

اگر شبکه لوله کشی هوای فشرده بطور مثال مطابق شکل DE-2 باشد هوای فشرده در خط توزیع B-C-D-E-F-G مطابق شکل توزیع می شود . در این حالت هوا به طور مساوی بین قسمت های رات وچپ خط توزیع تقسیم خواهد شد . معمولا اندازه وابعاد یکسان برای تمامی خط توزیع در نظر گرفته می شود . خط یک خط تغذیه کننده میانی بوده ودر محاسبات وارد نمی شود واندازه قطر آن برابر سایر قسمت های خطوط توزیع می باشد.

بداشتن مقدار فشار ، جریان هوا وطول لوله وبا در نظر گرفتن افت فشار برای مجموعه لوله اصلی و خطوط توزیع معادل ۰.۰۷ بار با استفاده از نمودار می توان قطر مناسب لوله بدست آورد. تقسیم کردن این افت بین شاه لوله و خطوط توزیع شکلهای مختلفی در نظر می گیرند برای مثال برای شاه لوله ۰.۰۲ بار و برای خط توزیع ۰.۰۵ بار در نظر گرفته می شود .

## عناصر پنوماتیک

در مقدمه اشاره شد به اینکه پنوماتیک عبارت است از علم کنترل واتوماسیون با هوای فشرده است که با سیستم دیجیتال و سیستم آنالوگ در صنعت بکار گرفته شده اند. عناصر کار ساز وعناصر آشکار ساز وفرمان انرژی هوای فشرده را با علم کنترل در خدمت اتوماسیون قرار می دهد..

در پنوماتیک هم همان سیستم کنترل اتوماتیک ودستی (مکانیزه) وجود دارد:

درسیستم مکانیزه حرکت توام با استارت داریم ولازمه ادامه حرکت با زدن مجدد استارت امکان پذیر می باشد. ولی درسیستم اتوماتیک حرکت به صورت سیکلی ودورانی تکرار می شود.

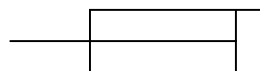
عناصررا در پنوماتیک به دو صورت **کار ساز ها** مانند کمپرسورها،پمپ ها و بلوئر ها و**آشکار سازها** که حاوی رساندن فرمان یا انرژی هستند مانند شیرها می توان تقسیم بندی کرد

عناصر در پنوماتیک دارای سمبل های خاص خود هستند که در نقشه ها وتحلیل مدار مورد استفاده قرار گرفته می شوند واین علائم استاندارد بوده وبه نماد های پنوماتیک مشهورند. .

عناصر کارساز مانند



سیلندر یکسو کار برگشت فنری



سیلندر دوکاره

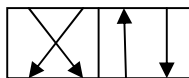


کمپرسور

در معرفی شیرها (VALVE) باید به نکاتی توجه داشت .

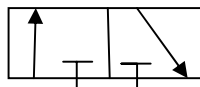
به طور کلی شیرها دارای دو مشخصه اساسی هستند:

- ایستگاه حالت های مختلف شیر
- این شیرها در حالت عادی باز (OPEN) بسته (CLOSE) وجود دارند
- راه تعداد دهانه (سوراخ)



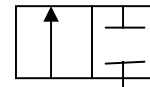
۴-۲

چهار راهه- دو ایستگاه



۳-۲

سه راهه - دو ایستگاه



۲-۲

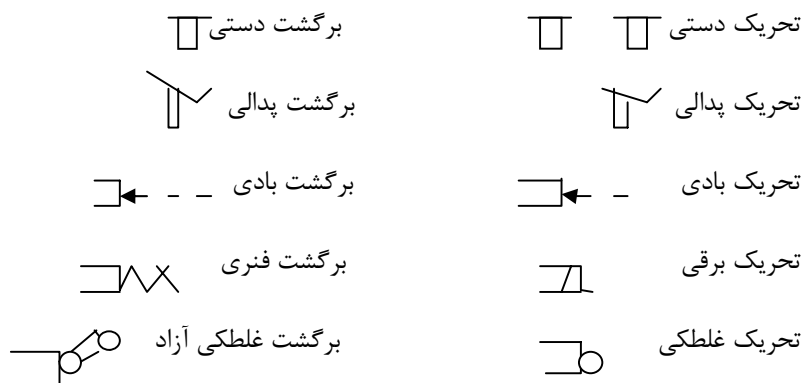
دوراهه- دو ایستگاه

**تحریک و برگشت :** تحریک عملی است که موجب تغییر حالت (تغییر ایستگاه) یک شیر می شود .

عمل تحریک یک شیر ممکن است بوسیله دست انجام شود که به آن تحریک دستی گویند مانند تحریک شیر آب (هنگام باز کردن شیر آب) .

در پنوماتیک برای تغییر ایستگاه شیرها از تحریک های مختلفی استفاده می شود و ممکن است برای برگشت ایستگاه به موضع اولیه (حالت اولیه) از همان نوع تحریک و یا نوع دیگری استفاده شود..

انواع تحریک هایی که در پنوماتیک مورد استفاده می شود در زیر نشان داده شده است:

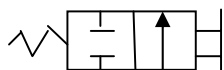


**قرار داد :**

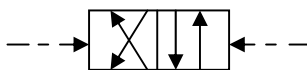
۱- برای نامیدن شیرها باید اول تعداد راه های شیر وبعد تعداد ایستگاه ها و سپس در مرحله بعد نوع تحریک و برگشت را ذکر کرد .

مثال : شیر سه راهه دو ایستگاه تحریک برقی ، برگشت فنری

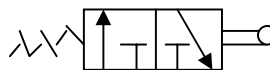
برای سهولت می توان نوشت ۳-۲ تحریک برقی برگشت فنری



۲-۲

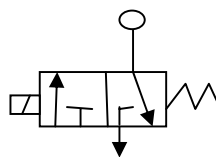


۴-۲



۳-۲

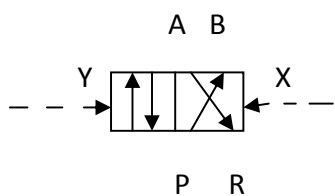
- ۲- اتصالات لوله ها به شیر همیشه به یک ایستگاه (یک مربع) وصل می شوند. (در مورد شیرهای دارای برگشت فنری اتصال به آن ایستگاه وصل می شود)  
 ۳- نشانه های تحریک و برگشت را در عرض مستطیل ترسیم کنید.



مثال

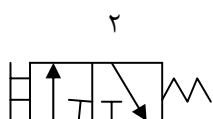
- ۴- دهانه های (PORTS) شیر را در استاندارد ایزو (متریک) با اعداد ولی در سیستم دین (اینچی) با حروف بزرگ انگلیسی مشخص می کنند. یعنی:

در سیستم اینچی داریم:



- |                        |                            |
|------------------------|----------------------------|
| A, B, C, D, E, F, G, H | دهانه های کارساز با        |
| P, Q                   | دهانه ورودی هوا (تغذیه) با |
| R, S, T                | دهانه های تخلیه هوا با     |
| X, Y, Z                | دهانه های فرمان را با      |
- نشان و نامگذاری می کنند.

و در سیستم متریک:



- |                |                               |
|----------------|-------------------------------|
| 2, 4, 6, 8, 10 | دهانه های کار ساز را با اعداد |
| 1              | دهانه فشار (تغذیه) را با عدد  |
| 3, 5, 7, 9     | دهانه تخلیه با اعداد          |
| 12, 14, 16     | دهانه های فرمان را با اعداد   |
- نشان و نام گذاری می کنند. ۱ ۳

شیر های دیگری هم در صنعت پنوماتیک برای رسیدن اهداف خط تولید جهت سهولت کار یا بالا بردن ایمنی سیستم و یا از بین بردن نقاط کور در مدار های پنوماتیک که عبارتند از :

شیر یا (OR) شیر و (AND) شیرهای تاخیر زمانی شیر قابل تنظیم سرعت شیر تابع فشار شیر تخلیه سریع و شیر تقویت کننده

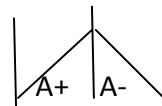
تذکر : به شیرهای تحریک بادی و برگشت بادی شیر پایلوت هم گفته می شود .

### نکات مهم دیگر

- در سیستم مکانیزه برای هر حرکتی یک رابطه داریم که به آن رابطه حرکت می گویند .
- در این سیستم مانند لاجیک حالات سیلندر (جک) صفر (منفی) و در حالت کورس یک (مثبت) فرض می نماییم نمونه هایی از رابطه های حرکت :  $A+, B+$  و یا  $A+, A-, B+, B-$  و نمونه دیگر  $A+, B+, C+, A-, B-, C-$
- در مدار هاشیر های حافظه هر سیلندر با حروف بزرگ انگلیسی  $A+, A-$  و آشکارساز مربوط به آن را با حروف کوچک یعنی  $a_0$  و  $a_1$  علامت گذاری می کنیم.

- نمودار حرکت هر رابطه حرکت دارای نموداری است که با ترسیم آن نقاط کور مدار بدست می آید . مانند:

$A+, A-$



- روابط کور : روابطی هستند که معادله حرکت به جواب میرسد ولی در عمل مدار جواب نمی دهد .

تمرین ۱: تحقیق کنید مدار حرکت زیر کور است یا نه  $A+, A-, B+, B-$

تمرین ۲: کور بودن یا نبودن مدار زیر را تحقیق کنید  $A+, B+, A-, B-$

## الکترو پنوماتیک


استفاده از الکتروپنوماتیک بدلیل سهولت در ایجاد حرکت های خطی و سرعت عمل فرمان های الکتریکی جهت کنترل آن در ماشینها و صنایع کاربرد چشمگیری داشته و مورد توجه واقع شده و در صنعت امروزه یعنی سیستم های کنترل پیشرفته مدرن روز جایگاه خاص خود را دارد .

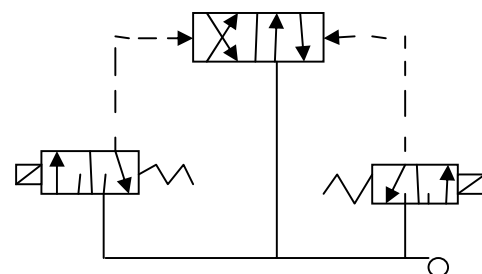
در مبحث قبلی اشاره ای به عوامل تحریک و برگشت شیرها داشتیم لذا در مبحث الکترو پنوماتیک شیرها دارای تحریک و برگشت برقی هستند یعنی این شیرها توسط بوبین های برقی (سیم پیچهایی که با تحریک حالت مغناطیسی پیدا کرده و هسته ای را جابجا می کنند) تحریک و یا برمی گردند .

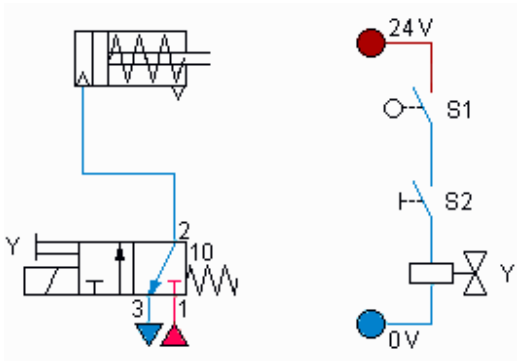
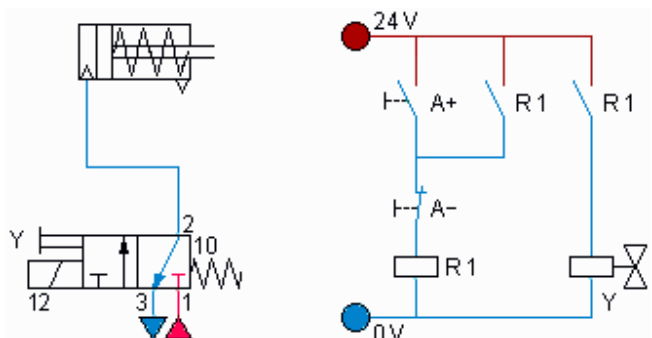
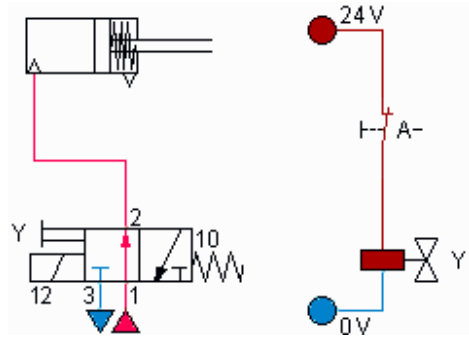
نکته قابل توجه در این بوبین ها نوع تغذیه (متناوب و یا مستقیم) مقدار آن از نظر ولتاژ (۲۲۰ ولت یا ۱۱۰ و یا ۲۴ و یا.....) می باشد .

نکته دوم در بررسی مدار و طراحی آن مدار به دو قسمت مدار قدرت بادی و مدار کنترل برقی تفکیک می شود یعنی میکرو سوئیچ های غلطکی جانشین شیرهای غلطکی خواهند شد . و کنتاکتورهای کمکی جانشین شیرهای حافظه خواهد شد .

مثال :

شیر  یک شیر ی است تحریک برقی و برگشت برقی که در اصل یک شیر ۲-۴ تحریک بادی و برگشت بادی است که در حقیقت با دو شیر تحریک برقی برگشت فنی در یک بلوک قرار گرفته است .





**مثال :** مداری را طراحی کنید که قطعه ای که باید سوراخ شود توسط یک سیلندر بادی گیره شده و حرکت بار دریل بوسیله سیلندر بادی دیگری امکان پذیر باشد ( مدار را در حالت پنوماتیک و الکترو پنوماتیک طراحی نمایید ) معادله حرکت  $A+B+B-A-$  عبارت است از

شکل ۱-۲

دقت به دهانه های تحریک شیر های کار ساز سیلندر های  $A, B$  یعنی دهانه  $B-B+$  دیده می شود که از نوع تحریک بادی برگشت بادی انتخاب شده اند . اما ممکن است شرایط یک دستگاه و یا سلیقه طراح ایجاب کند که شیرها های کار ساز از نوع تحریک برقی ، برگشت برقی برگزیده شوند. در این صورت میکروسوئچ های غلطکی جانشین شیرهای غلطی خواهند شد و مدار بدو شده که  $M$  قسمت مدار قدرت بادی و مدار کنترل برقی تفکیک می شود ، در چنین مداراتی کنتاکتور های کمکی جانشین حافظه مدار زیر نشان دهنده مسئله فوق می باشد.



# Compressed air quality

## ISO 8573-1

Class	Solids		Water	Oil
	particle size max $\mu\text{m}$	concentration maximum $\text{mg}/\text{m}^3$	Max Pressure Dew point $^{\circ}\text{C}$	concentration $\text{mg}/\text{mm}^3$
1	0.1	0.1	- 70	0.01
2	1	1	- 40	0.1
3	5	5	- 20	1
4	15	8	+ 3	5
5	40	10	+ 7	25
6	-	-	+ 10	-
7	-	-	Not Specified	-

Pressure dew point is the temperature to which compressed air must be cooled before water vapour in the air starts to condense into water particles



