به نام خالق بی‌همتا

جزوه‌ی درس

هیدرولیک و پنوماتیک

گردآورنده:

احمد بِدرام

(دانشجوی دکترای مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف)

مطابق با سرفصل‌های درس «هیدرولیک و پنوماتیک» رشته‌ی برق (مقطع کاردانی) دانشگاه فنی و حرفه‌ایِ کشور

تذکر مهم:

کلیه‌ی مطالب این جزوه، برگرفته از کتاب‌ها و سایت‌های اینترنتی مختلف در زمینه‌ی هیدرولیک و پنوماتیک بوده و صرفاً جهت تدریس درس «هیدرولیک و پنوماتیک» می‌باشد. لذا مطالب این جزوه در قالب کتاب قابل نشر نیست.

استفاده از این جزوه برای اساتید محترم سراسر کشور، جهت تدریس درس «هیدرولیک و پنوماتیک» و برای دانشجویان و سایر علاقمندان جهت یادگیری آن، کاملاً آزاد می‌باشد.

«« شادی روح ملکوتی امام خمینی و شهدای والا مقام اسلام صلواتی اهدا بفرمایید »»

فهرست مطالب

۱- معرفی اتوماسیون ۳
۲- معرفی هیدرولیک ۳
۳- مفاهیم پایه‌ای سیالات ۵
۳-۱- فشار ۵
۳-۲- چگالی ۷
۳-۳- لزجت ۷
۳-۴- مکانیک سیالات ۹
۳-۵- افت فشار ۱۲
۳-۶- فشارسنج‌ها ۱۶
۴- هیدروپمپ‌ها ۱۶
۵- مخزن ۲۳
۶- روغن‌های هیدرولیکی ۲۴
۷- موتورهای هیدرولیکی ۲۶
۸- سیلندرهای هیدرولیکی ۲۸
۹- شیرهای هیدرولیکی ۳۱
۹-۱- شیرهای کنترل جهت ۳۱
۹-۲- شیرهای کنترل فشار ۳۵
۹-۳- شیرهای کنترل دبی جریان ۳۸
۱۰- انباره‌ها ۳۸
۱۱- علائم ترسیمی اجزای مختلف هیدرولیکی و پنوماتیکی ۴۰
۱۲- مدارهای هیدرولیکی ۴۰
۱۳- اصول عیب‌یابی سیستم‌های هیدرولیکی ۴۶
۱۴- معرفی پنوماتیک ۴۶
۱۵- آماده‌سازی هوای فشرده ۴۷
۱۶- کمپرسور ۴۸
۱۷- لوله‌ها و اتصالات پنوماتیکی ۵۲
۱۸- شبکه‌ی هوای فشرده ۵۴
۱۹- افت فشار ۵۷

۲۰- شیرهای پنوماتیکی ۵۷
۲۱- سیلندرهای پنوماتیکی ۶۱
۲۲- موتورهای پنوماتیکی ۶۷
۲۳- مدارهای پنوماتیکی ۶۸
۲۴- دیاگرام فرمان (کاربرد در مدارهای هیدرولیکی و پنوماتیکی) ۷۱
۲۵- نکات ایمنی در سیستم‌های پنوماتیکی ۷۳
مراجع ۷۴
ضمیمه‌ی ۱: دیاگرام مودی ۷۵
ضمیمه‌ی ۲: نماد اجزای مختلف سیستم‌های هیدرولیکی و پنوماتیکی ۷۶
ضمیمه‌ی ۳: اصول عیب‌یابی سیستم‌های هیدرولیکی ۸۴

۱– معرفی اتوماسیون

خودکارسازی (اتوماسیون) یعنی انجام فرآیندها توسط تجهیزات مکانیکی و الکترونیکی، بدون دخالت انسان. ربات های صنعتی، یکی از بهترین مثال های خودکارسازی (اتوماسیون) هستند.

برخی از کاربردهای اتوماسیون عبارتند از:

- ✓ تولید برخی قطعات در کارخانه های خودروسازی که تماماً توسط ربات انجام می‌شود نمونه ای از خودکارسازی مکانیکی است.
- ✓ سیستم های تلفنی که به صورت خودکار پاسخگویی می نمایند نیز نمونه ای از خودکارسازی تماماً الکتریکی است.
- ✓ دستگاه های خودپرداز بانک ها، نمونه‌ی دیگری از فرآیند اتوماسیون هستند.

مزایای اتوماسیون عبارتند از:

- ✓ افزایش تولید »»» یک ربات میتواند در تمام زمان ها و نیز با سرعت های زیاد کار کند ولی نیروی کار انسانی نیاز به استراحت دارد.
- ✓ کاهش هزینه‌ی نیروی انسانی
- ✓ رفع مشکل کمبود نیروی متخصص »»» چون تجهیزات مورد نیاز برای اتوماسیون قابل انتقال به تقریباً تمام نقاط هستند. اما نیروی متخصص در همه جا (مثلاً روستاها) وجود ندارد.
- ✓ بهبود ایمنی »»» جایگزین شدن تجهیزات با انسان‌ها در انجام کارهایی که باید در محیط‌های خطرناک انجام شود (مثلاً آتش، فضا، آتشفشان، تأسیسات هسته‌ای، زیر آب، و غیره)
- ✓ یکسان بودن محصولات »»» مثلاً اگر نیروی انسانی بخواهد یک مایع ظرفشویی را در ظرف مربوطه بریزد، در دفعات مختلف ممکن است میزان مختلفی از مایع ریخته شود ولی ربات بسیار دقیقتر عمل نموده و تقریباً در تمام دفعات، به یک میزان مایع می ریزد.
- ✓ انجام کارهایی که فراتر از توانایی‌های بشر است مثلاً انجام فرآیندهای بسیار سریع یا بسیار آهسته.

معایب اتوماسیون عبارتند از:

- ✓ هزینه‌ی بالای نصب و راه اندازی تجهیزات مربوطه
- ✓ پیچیدگی کار در فرآیندهای با فناوری های پیچیده
- ✓ امکان قطع خدمات از سوی شرکت سازنده‌ی تجهیزات به دلایل مختلف همچون ورشکستگی شرکت، مسائل سیاسی و . . .
- ✓ در اثر اتوماسیون، بخشی از نیروی کار بیکار می شوند (کاهش تعداد اشتغال)؛ ولی این مورد با فرصت های شغلی جدید در زمینه طراحی، نصب و نگهداری تجهیزات اتوماسیون برطرف می‌شود. لذا این مورد جزء معایب اتوماسیون نیست.

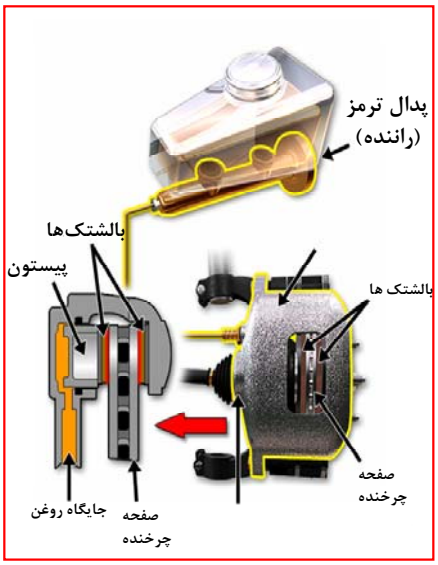
۲– معرفی هیدرولیک

هیدرولیک، فناوری تولید و انتقال انرژی توسط سیال های پر فشار هست. هیدرولیک از واژه یونانی «هیدرو» به معنای آب گرفته شده است. مایعات مورد استفاده در هیدرولیک، عمدتاً روغن ها هستند. برخی از کاربردهای سیستم‌های هیدرولیکی عبارتند از:

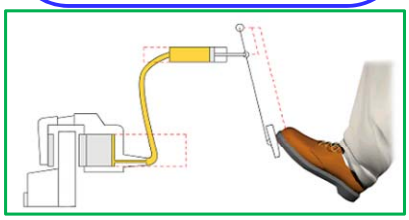
- ✓ ماشین های سنگین باربری
- ✓ سیستم‌های ترمز
- ✓ میزهای بالابر

- ✓ بالابرهای انسانی (آسانسور)
- ✓ شبیه سازهای پرواز
- ✓ جک‌های هیدرولیکی

ساختمان ترمز هیدرولیکی یک خودرو که یک نمونه از سیستم‌های هیدرولیکی است، در زیر نشان داده شده است:



فشار دادن پدال ترمز توسط راننده
↓
افزایش فشار روغن
↓
فشار آوردن پیستون به بالشتک‌ها
(بالشتک‌ها همراه با لاستیک می‌چرخند)
↓
ایجاد اصطکاک و کاهش سرعت لاستیک



سیستم های هیدرولیکی، مزایای متعددی دارند که در ادامه به تعدادی از آن ها اشاره می نماییم:

۱- امکان انتقال نیروهای بزرگ و توان های بالا: این موضوع، در ماشین های بزرگ به خوبی دیده می‌شود.

۲- امکان دقیق تنظیم سرعت و باردهی: سیستم های هیدرولیکی توسط ابزارهایی مثل شیرها مطابق یک برنامه از پیش تنظیم شده قابل تنظیم اند.

۳- تنظیم سرعت در خلال کار (و در زیر بار)

۴- ساده بودن تغییر جهت حرکت یا دوران

۵- حرکت بدون ضربه لرزش

۶- تبدیل آسان حرکت ها (مثلاً دورانی به رفت و برگشتی)

۷- امکان انتقال نیرو به نقاط دور (توسط سیستم های لوله کشی)

۸- عمر زیاد (به واسطه روغن کاری همیشگی توسط سیال عامل)

بخشی از معایب سیستم های هیدرولیکی عبارتند از:

۱- حساسیت برخی از روغن های هیدرولیک به دما (و امکان شعله‌ور شدن)

۲- تراکم پذیری روغن ها: در فشارهای بالا، روغن ها اندکی متراکم شده و باعث کاهش دقت کار می شوند.

۳- تغییر خواص روغن به دلایلی (مثلا تغییرات دما)، و تغییر خواص خروجی سیستم هیدرولیک (مانند نیروی تولیدی).

۴- اتلاف انرژی به دلیل اصطکاک سیال (حرکت سیال، اصطکاک، جریان مغشوش)

۵- نشت روغن از سیستم که باعث کاهش بازده می‌شود.

۶- بالا بودن هزینه‌ی ساخت سیستم های هیدرولیک.

با رعایت کردن اصول طراحی سیستم های هیدرولیک، می توان معایب مذکور را تا حد خوبی برطرف نمود.

سیستم های هیدرولیکی از قسمت های اصلی زیر تشکیل می‌شود:

۱- هیدروپمپ ها

۲- عملگرهای هیدرولیکی (هیدروموتور ها و سیلندرهای هیدرولیکی)

۳- اجزای کنترل کننده و تنظیم کننده

در بخش های بعد، تمام موارد مذکور بررسی خواهد شد.

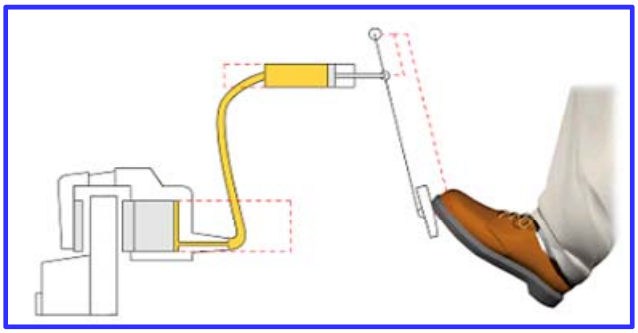
فرآیند کار سیستم های هیدرولیک به صورت زیر است:

۱- تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی هیدرولیکی: هیدروپمپ ها، انرژی مکانیکیِ منبع نیروی خارجی را تبدیل به انرژی پتانسیل (فشار) و یا انرژی جنبشی (سرعت) سیال می کنند.

۲- انتقال انرژی هیدرولیکی: سیال پس از افزایش انرژی، به محل مصرف (مثلاً جک ها یا سیلندرهای هیدرولیکی) انتقال داده می‌شود.

۳- تبدیل انرژی هیدرولیکی به مکانیکی: در نهایت انرژی هیدرولیکی، توسط هیدروموتورها یا سیلندرها به انرژی مکانیکی مورد نظر تبدیل می‌شود.

سه مرحله‌ی فوق، در شکل زیر نیز وجود دارد.



۳- مفاهیم پایه‌ای سیالات

در این بخش، مفاهیم پایه‌ای مربوط به سیالات بیان می‌شود.

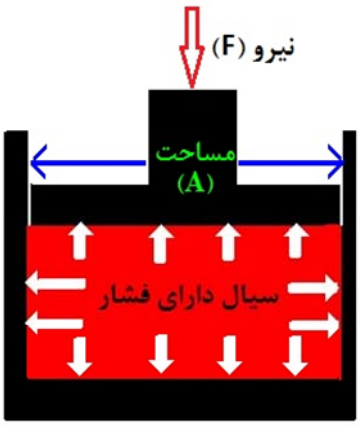
۳-۱- فشار

نیرویی که یک سیال به دیواره های ظرفی که در آن قرار دارد وارد می‌کند، بیان گر فشار سیال است. در یک سیلندر و پیستون، رابطه فشار به صورت زیر است:

$$P = \frac{F}{A}$$

P فشار سیال داخل سیلندر (پاسکال) A سطح مقطع پیستون (متر مربع)

F نیرویی که باید به بالای سیلندر وارد نمود تا سیال در فشار P باقی بماند (بر حسب نیوتن)



واحد فشار را از رابطه‌ی فشار می توان به دست آورد.

$$P = \frac{F}{A} \longrightarrow \text{واحد فشار} = \frac{\text{واحد نیرو}}{\text{واحد مساحت}} = \frac{\text{نیوتن (N)}}{\text{متر مربع } (m^2)} = \text{پاسکال (Pa)}$$

اگر به یک پیستون با سطح مقطع یک متر مربع، نیرویی برابر با یک نیوتن وارد شود، فشار یک پاسکال در سیال داخل آن ایجاد خواهد شد.

علاوه بر پاسکال، واحدهای دیگری نیز برای فشار سیال وجود دارد.

$1Bar = 10^5\,Pa$ «بار(Bar)» $1atm = 101325\,Pa$ «اتمسفر(atm)» $1PSI = 6802.7\,Pa$ «PSI

یک اتمسفر، میزان فشار هوای در سطح دریاهای آزاد است. اگر در سؤالی برای فشار، واحدی غیر از واحد اصلی داده شده بود، می توان ابتدا آن را به واحد اصلی تبدیل کرد سپس مسئله را حل نمود.

مفاهیمی به نام «فشار نسبی» و «فشار مطلق» وجود دارد که در ادامه توضیح داده می‌شود:

فشار مطلق در واقع همان فشارِ معمولی سیال می باشد. فشار نسبی، اختلاف فشار سیال با فشار محیط است. لذا داریم:

فشار نسبی = فشار مطلق − فشار محیط

فشار محیط یعنی فشار هوا در آن منطقه. مثلاً اگر یک کارخانه در شهر طبس قرار دارد، فشار محیط می‌شود فشار هوای طبس، که این فشار با فشار هوا در سطح دریا متفاوت است چون فشار هوا تابع عوامل متعددی است.

اگر در دو طرف یک سطح دو سیال وجود داشته باشند، فشار آن دو سیال همدیگر را خنثی می کنند. اگر در جایی گفته شود فشار سیال مثلاً ۱۰ پاسکال است، یعنی فشار مطلق ۱۰ پاسکال است. پس کلمه‌ی فشار به تنهایی، معنای فشار مطلق را دارد.

****

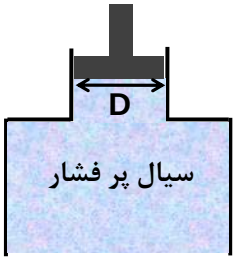
مثال: فشار سیال در یک سیلندر ۱۰ بار است. فشار نسبی چقدر است؟ (فشار هوا ۱ بار می باشد)

پاسخ: در صورت سؤال گفته شده فشار ۱۰ بار است پس یعنی فشار مطلق ۱۰ بار است. لذا داریم:

فشار نسبی = فشار مطلق − فشار محیط $\longrightarrow$ فشار نسبی $= 10 - 1 = 9\,bar$

****

مثال: ساختمان یک جک هیدرولیک در شکل زیر نشان داده شده است. اگر یک هیدروپمپ، سیال را به فشار 18bar رسانده و به داخل جک بفرستد، این جک چند کیلوگرم بار را می تواند بلند کند؟ سطح مقطع جک، استوانه‌ای به قطر 60mm است (D=60mm).



پاسخ: می خواهیم مساحت مقطع استوانه را بیابیم. ابتدا باید شعاع استوانه را بر حسب متر پیدا کنیم:

$$r = \frac{D}{2} = \frac{60mm}{2} = 30mm = 30mm \times \frac{1m}{1000mm} = \frac{30}{1000}m = 0.03m$$

حال مساحت پیستون (که به شکل یک دایره است) را می یابیم.

$$A = \pi r^2 = 3.14 \times (0.03)^2 = 0.0028\,m^2$$

حال، مقدار فشار در داخل سیلندر را بر حسب پاسکال پیدا می کنیم.

$$P = 18bar = 18bar \times \frac{10^5\,Pa}{1bar} = 18 \times 10^5\,Pa$$

اکنون، مقدار نیرو را می یابیم:

$$P = \frac{F}{A} \longrightarrow F = P \times A = (18 \times 10^5) \times 0.0028 = 5040N$$

میزان نیروی جک به دست آمد. برای یافتن جرم جسم، کافی است این نیرو را تقسیم بر شتاب جاذبه زمین (g=9.81) کنیم »»»» $m = \frac{5040}{9.81} = 514kg$ پس این جک می تواند جسمی به جرم ۵۱۴ کیلوگرم را بلند کند.

****

۳-۲- چگالی

چگالی هر ماده یعنی جرم (M) تقسیم بر حجم (V).

$$\rho = \frac{M}{V} \longrightarrow \text{واحد چگالی} = \frac{\text{واحد جرم}}{\text{واحد حجم}} = \frac{\text{کیلوگرم(kg)}}{\text{متر مکعب } (m^3)}$$

نماد چگالی (ρ) به صورت «رُو» تلفظ می‌شود.

چگالی سیالات هیدرولیک باید کم باشد. به دلایل زیر:

۱- اتلافات سیستم کاهش یابد. مثلاً کاهش افت فشار

۲- از ایجاد عکس‌العمل بر اجزای کنترل کننده جلوگیری شود. مثلاً چگالی بالای سیال (به ویژه سیال متحرک) می‌تواند به شیرها یا سایر اجزای حساس ضربه بزند.

در اکثر موارد، چگالی مواد با افزایش دما کاهش می‌یابد (چون حجم زیاد می‌شود). در اکثر روغن ها، چگالی مواد با افزایش فشار افزایش می‌یابد. آب استثناء است و در دمای $4^\circ C$ با کاهش دما، چگالی آن کم می‌شود.

جرم مخصوص یا چگالی ویژه برای مایعات و گازها به صورت زیر تعریف می‌شود

«« برای گازها »»

$$\text{جرم مخصوص} = \frac{\text{چگالی ماده}}{\text{چگالی هوا}}$$

«« برای مایعات »»

$$\text{جرم مخصوص} = \frac{\text{چگالی ماده}}{\text{چگالی آب}}$$

۳-۳- لزجت

لزجت یکی از خواص سیالات است که نشان دهنده‌ی میزان تمایل سیال به جاری شدن است. هر چه سیال غلیظ تر باشد، لزجت آن بیشتر است. مثلاً لزجت عسل از آب بیشتر است. نماد علمی لزجت این علامت است μ (میو). نام های دیگر لزجت عبارتند از: ویسکوزیته، گرانروی.

دو نوع تعریف اصلی، به صورت زیر برای لزجت وجود دارد.

۱- لزجت دینامیکی که نماد آن μ (میو) می باشد.

۲- لزجت سینماتیکی که نماد آن ν (نو) می باشد.

رابطه‌ی لزجت دینامیکی و سینماتیکی به این صورت است: $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ که ρ چگالی سیال است. ما در این درس بیشتر با لزجت دینامیکی (μ) کار خواهیم کرد. در جدول زیر مقادیر لزجت دینامیکی چند سیال ارائه شده است.

نوع سیال	لزجت در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد (Pa.s)	نوع سیال	لزجت در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد (Pa.s)
هوا	10^{-5}	گلیسیرین	1
آب	10^{-3}	عسل	10
روغن زیتون	10^{-1}		

واحدهای لزجت دینامیکی به صورت زیر هستند:

واحد اصلی: پاسکال ثانیه (Pa.s)« $Pa.s = \frac{kg}{m.s}$ «پُویز» یا «پُواز» (P)« $1P = 0.1Pa.s$

سانتی پویز (cP) «««««« $1cP = 0.01P = 10^{-3}Pa.s$

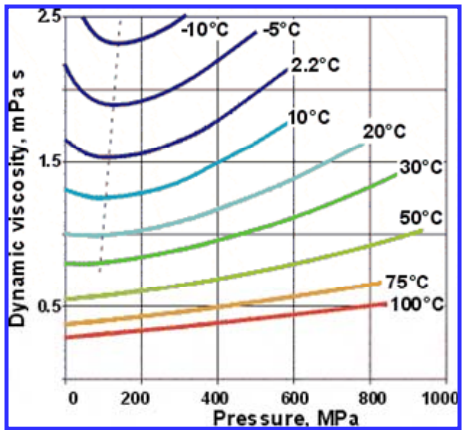
واحدهای لزجت سینماتیکی به صورت زیر هستند:

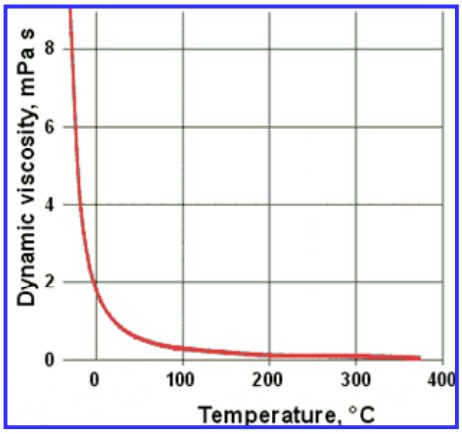
واحد اصلی: مترمربع بر ثانیه « $\frac{m^2}{s}$ استوکس (St) « $1St = 10^{-4}\frac{m^2}{s}$

سانتی استوکس (cSt) « $1cSt = 0.01St = 10^{-6}\frac{m^2}{s}$

** اگر در سؤالی برای لزجت، واحدی غیر از واحد اصلی داده شده بود، می‌توان ابتدا آن را به واحد اصلی تبدیل کرد سپس مسئله را حل نمود.

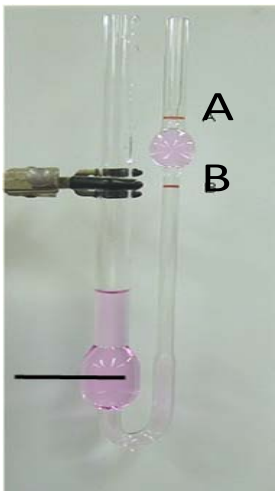
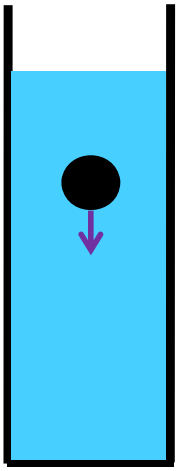
نمونه‌ای از نمودار لزجت بر حسب دما و فشار در شکل‌های زیر آورده شده است که برای یک ماده‌ی خاص می‌باشد.





همان‌طور که مشاهده می‌شود، لزجت به شدت تابع دما بوده و بسیار کمتر به فشار بستگی دارد.

برای اندازه‌گیری لزجت سیال، روش‌های مختلفی وجود دارد که در زیر به چند نمونه از آن‌ها اشاره می‌شود. در جدول زیر، تصویر چند نمونه از روش‌های اندازه‌گیری لزجت آمده است و در ادامه، توضیحات مربوط به هر شکل خواهد آمد.

نام ابزار اندازه‌گیری لزجت	**لوله U شکل**	**سقوط ساچمه در سیال**	**روش لرزشی**	**روش دورانی**
شکل				

✓ **روش لوله U شکل (U-Tube Viscometer)**: ویسکومتر یعنی دستگاهی که لزجت (ویسکوزیته) را اندازه‌گیری می‌کند. یک لوله U شکل که هر یک از شاخه های آن یک قطر خاص داشته و در هر شاخه نیز، یک حباب وجود دارد. روند اندازه‌گیری لزجت در این روش به این صورت است: ۱- سیال در لوله‌ی U شکل ریخته می‌شود. ۲- با مقداری مکش، سیال در شاخه‌ی سمت راست بالا رفته به طوری که حباب سمت راست پر شده و سیال تا نقطه‌ی

A بالا می رود (در بالا و پایین حباب، دو شاخص به صورت خطوط قرمز رنگ یا همان نقاط A و B وجود دارد).
۳- حال مکش حذف شده و سیال رها می‌شود. زمانی که طول می کشد تا سطح بالای سیال، از نقطه‌ی A به B برسد متناسب با لزجت سینماتیکی سیال است.

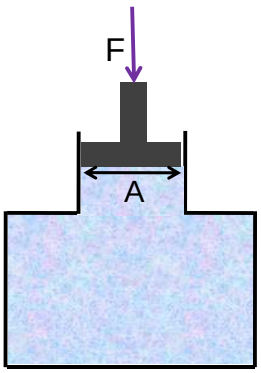
- ✓ **روش سقوط ساچمه در سیال (Falling Sphere Viscometer)**: در این روش سیال مورد نظر، در یک لوله به قطر مشخص ریخته می‌شود. ساچمه ای با قطر و چگالی مشخص نیز در داخل استوانه‌ی حاوی سیال مورد نظر انداخته می‌شود. پس از مدتی، ساچمه به یک سرعت ثابت می رسد. با اندازه گیری سرعتِ فوق، میزان لزجت سیال به دست می‌آید.
- ✓ **روش لرزشی (Vibrational viscometers)**: روند اندازه‌گیری لزجت در این روش به این صورت است: ۱- ظرفی را پر از سیال مورد نظر می‌کنند. ۲- یک لرزاننده (شبیه لرزاننده موبایل) در داخل ظرف قرار می دهند. ۳- لرزاننده شروع به لرزش می‌کند و مشخصات لرزش (مانند دامنه و فرکانس لرزش) توسط دستگاه هایی ثبت می‌شود. ۴- از مشخصات لرزش می توان لزجت سیال را به دست آورد.
- ✓ **روش دورانی (Rotation viscometers)**: روند اندازه‌گیری لزجت در این روش به این صورت است: ۱- ظرفی را از سیال مورد نظر پر می‌کنند. ۲- جسم مشخصی را در درون ظرف به چرخش در می‌آورند (مثلاً یک دیسک). ۳-با اندازه‌گیری نیروی لازم برای چرخش جسم، لزجت سیال محاسبه می‌شود. این دستگاه شبیه یک همزن است.

سایر روش‌های اندازه گیری لزجت به صورت زیر هستند:

- ✓ ویسکومتر با سقوط پیستون (Falling Piston Viscometer)
- ✓ ویسکومتر با پیستون دوّار (Oscillating Piston Viscometer)
- ✓ ویسکومتر کره‌ی چرخان الکترومغناطیسی(Electromagnetically Spinning Sphere Viscometer (EMS Viscometer
- ✓ ویسکومتر استابینگر (Stabinger viscometer)
- ✓ ویسکومتر حبابی (Bubble viscometer)
- ✓ ویسکومتر با شکاف ریز (Micro-Slit Viscometers)

۳-۴- مکانیک سیالات

وقتی در اثر یک نیروی خارجی (مثلا پیستون در شکل زیر)، یک فشار به یک نقطه از سیال اعمال می‌شود، آن فشار به تمام نقاط سیال به یک اندازه منتقل می‌شود. در شکل زیر، پیستون باعث می‌شود فشاری به اندازه‌ی $\frac{F}{A}$ به تمام نقاط سیال اعمال شود.

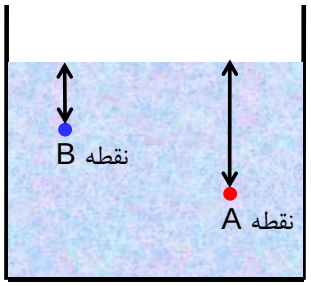


در یک سیال، بخش هایی از سیال که در اعماق بیش تری قرار دارند، دارای فشار بیشتری هستند (به دلیل وزن ذرات سیال بالای خود). فشاری که در اثر عمق سیال ایجاد می‌شود از رابطه‌ی زیر به دست می آید:

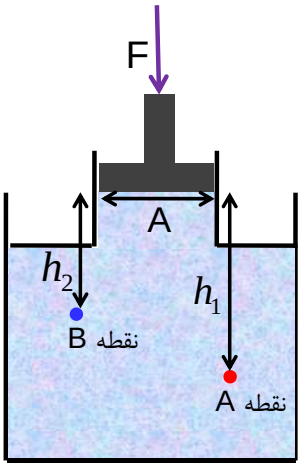
$$P = \rho g h$$

P، فشار سیال در یک نقطه (پاسکال)
h، ارتفاع سیالی که بالای نقطه‌ی مورد نظر است (متر)
g، شتاب جاذبه زمین (9.81)
ρ چگالی سیال (کیلوگرم بر متر مکعب)

به عنوان مثال، در شکل زیر فشار نقاط A و B به صورت روبرو می‌شود: $P_A = \rho g h_1 \quad and \quad P_B = \rho g h_2$



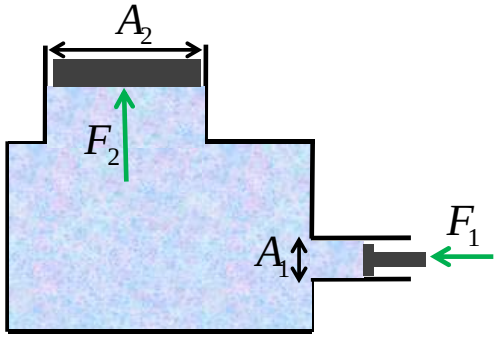
فشار یک نقطه از سیال، از جمع فشار خارجی و فشار ناشی از عمق سیال به دست می آید. به عنوان مثال در شکل زیر، فشار نقاط A و B می‌شود: $P_A = \frac{F}{A} + \rho g h_1 \qquad and \qquad P_B = \frac{F}{A} + \rho g h_2$



در عمل در سیستم های هیدرولیکی، فشار خارجی بسیار بیشتر از فشار ناشی از عمق است، لذا در اکثر موارد می توان از فشار ناشی از عمق، صرف نظر نمود.

تقویت نیرو توسط سیستم هیدرولیک:

در سیستمی که در شکل زیر نشان داده شده است، با وارد کردن یک نیروی کم به پیستون ۱، در پیستون ۲ یک نیروی زیاد به سمت بالا ایجاد خواهد شد و می تواند یک جسم سنگین را بلند کند.



روابط نهایی این سیستم به صورت روبرو است: $S_1 \times A_1 = S_2 \times A_2 \qquad \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$

F_1 نیرویی که ما به پیستون کوچک وارد می کنیم (نیروی کم)

F_2 نیرویی که در پیستون بزرگ ایجاد می‌شود (نیروی بزرگ).

S_1 میزان جابجایی پیستون کوچک (متر) S_2 میزان جابجایی پیستون بزرگ (متر)

A_1 سطح مقطع پیستون کوچک (متر مربع) A_2 سطح مقطع پیستون بزرگ (متر مربع)

****

مثال: در سیستم تقویت کننده‌ی نیروی هیدرولیک (شکل بالا)، نیروی ۱۰۰ نیوتن به پیستون کوچک اعمال می‌شود. پیستون بزرگ چه جرمی را می تواند بلند کند؟ $A_1 = 0.01m^2$ $A_2 = 5m^2$

پاسخ: رابطه‌ی اصلی سیستم را می نویسیم:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \longrightarrow \frac{100}{0.01} = \frac{F_2}{5} \longrightarrow F_2 = \frac{5 \times 100}{0.01} = 50000N$$

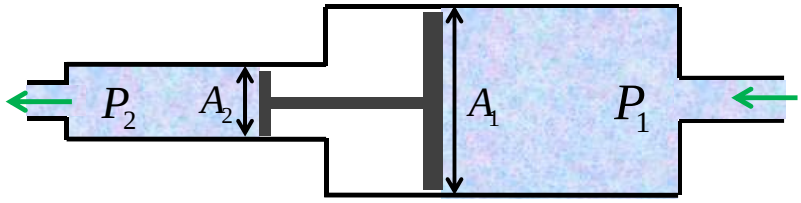
جرمی که پیستون می تواند بلند کند می‌شود:

$$m = \frac{50000}{9.81} = 5097\,kg$$

****

تقویت فشار توسط سیستم هیدرولیک:

در سیستمی که در شکل زیر نشان داده شده است، فشار سیال در ورودی کم است و در خروجی، فشار زیاد می‌شود.



رابطه‌ی این سیستم به صورت زیر می‌شود:

$$P_1 \times A_1 = P_2 \times A_2$$

P_1 فشار سیال در ورود به سیستم (پاسکال) P_2 فشار سیال در خروج از سیستم (پاسکال)

A_1 سطح مقطع پیستون ورودی (متر مربع) A_2 سطح مقطع پیستون خروجی (متر مربع)

دبی حجمی:

دبی حجمی (Q) یعنی حجم سیال عبوری از یک مقطع از لوله بر حسب زمان. واحد دبی حجمی متر مکعب بر ثانیه است. مثلاً در شکل زیر، اگر دبی حجمی سیال در مقطع ۱، برابر با ۳ متر مکعب بر ثانیه باشد، یعنی در هر ثانیه، ۳ متر مکعب سیال از مقطع ۱ عبور می‌کند.

رابطه‌ی دبی حجمی سیال در داخل لوله به صورت زیر است:

$$Q = V \times A$$

Q دبی حجمی سیال (متر مکعب بر ثانیه) V سرعت سیال (متر بر ثانیه) A سطح مقطع لوله (متر مربع)

دبی جرمی:

دبی جرمی ($\dot{m}$) یعنی جرم سیال عبوری بر حسب زمان که واحد آن کیلوگرم بر ثانیه است. مثلاً در شکل بالا، اگر دبی جرمی سیال در مقطع ۱، برابر با ۳ کیلوگرم بر ثانیه باشد، یعنی در هر ثانیه، ۳ کیلوگرم سیال از مقطع ۱ عبور می‌کند.

رابطه‌ی دبی جرمی سیال در داخل لوله به صورت روبرو است:

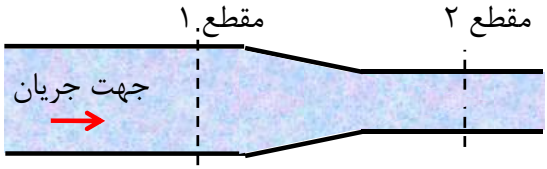
$$\dot{m} = \rho V A$$

$\dot{m}$ دبی جرمی سیال (کیلوگرم بر ثانیه) ρ چگالی سیال (کیلوگرم بر متر مکعب)

V سرعت سیال (متر بر ثانیه) A سطح مقطع لوله (متر مربع)

قانون پیوستگی:

قانون پیوستگی بیان می‌کند که دبی جرمی ($\dot{m}$) در طول لوله ثابت است و با تغییر قطر عوض نمی‌شود. اگر چگالی سیال ثابت باشد، دبی حجمی (Q) نیز در طول لوله ثابت است و با تغییر قطر عوض نمی‌شود. چگالی گازها ثابت نیست و می تواند در طول لوله تغییر کند اما مایعات عموماً چگالی ثابت دارند (به جز در فشارهای بالا).



در شکل فوق داریم: $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \rightarrow \rho A_1 V_1 = \rho A_2 V_2 \rightarrow A_1 V_1 = A_2 V_2$

قانون برنولی:

قانون برنولی بیان می‌کند که بین هر دو نقطه از سیال (مثلاً نقطه‌ی ۱ و نقطه‌ی ۲) که پمپ یا وسیله‌ی دیگری نباشد، می‌توان رابطه‌ی زیر را نوشت:

$$P_1 + \frac{\rho (V_1)^2}{2} + \rho g z_1 = P_2 + \frac{\rho (V_2)^2}{2} + \rho g z_2$$

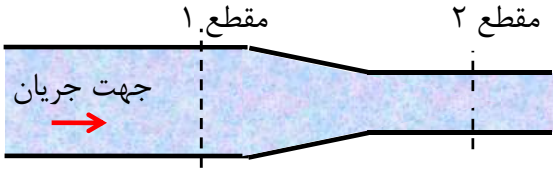
P فشار سیال (پاسکال) ρ چگالی سیال (کیلوگرم بر متر مکعب) V سرعت سیال (متر بر ثانیه)

g شتاب جاذبه‌ی زمین (۹/۸۱) z ارتفاع سیال از سطح زمین (متر)

****

مثال: در شکلی که در ادامه آمده است، اطلاعات زیر مشخص است: فشار سیال در مقطع ۲ را بیابید؟ (عمق سیال یعنی z، در مقطع های ۱ و ۲ یکسان است)

$$P_1 = 10000 Pa \quad V_1 = 2\frac{m}{s} \quad \rho = 1000\frac{kg}{m^3} \quad V_2 = 4\frac{m}{s}$$



پاسخ: مقادیر فوق را در رابطه‌ی برنولی جایگذاری می کنیم:

$$P_1 + \rho g z_1 + \frac{\rho (V_1)^2}{2} = P_2 + \rho g z_2 + \frac{\rho (V_2)^2}{2} \longrightarrow 1000 + \rho g z_1 + \frac{1000(2)^2}{2} = P_2 + \rho g z_2 + \frac{1000(4)^2}{2}$$

$$P_2 = 10000 + \frac{1000(2)^2}{2} - \frac{1000(4)^2}{2} = 4000\, Pa$$

****

۳-۵- افت فشار

در این بخش به مبحث افت فشار در سیستم‌های سیالی پرداخته می‌شود.

جریان آرام و مغشوش:

جریان آرام جریانی است که سرعت سیال در آن کم باشد و جریان به صورت کاملاً صاف و منظم حرکت کند. این جریان را لایه ای نیز می‌نامند. جریان مغشوش (آشفته یا توربولانس) جریانی است که در ان سرعت سیال زیاد باشد و حالت صاف بودن جریان به هم خورد و جریان به صورت دَرهَم در آید. اگر یک شیر آب در منزل خود را باز کنید مشاهده می‌کنید که در ابتدا که شیر کم باز است، جریان آرام است. اگر شیر را زیاد باز کنید، جریان مغشوش می‌شود. نمونه‌ی هر دو جریان در شکل زیر دیده می‌شود.

جریان آرام

جریان مغشوش

عدد رینولدز:

در جریان های سیالات، «عدد رینولدز Re» به صورت روبرو تعریف می‌شود. $\mathrm{Re} = \frac{\rho V D}{\mu}$

ρ چگالی سیال (کیلوگرم بر متر مکعب) V سرعت سیال (متر بر ثانیه)

μ لزجت سیال (پاسکال ثانیه) D قطر لوله (متر)

در جریان داخل لوله، اگر عدد رینولدز کم‌تر از ۲۳۰۰ باشد جریان آرام، و اگر بیش‌تر از ۲۳۰۰ باشد جریان مغشوش خواهد بود.

افت فشار:

در سیستم های هیدرولیک، انرژی مکانیکیِ اولیه، به انرژی هیدرولیکی تبدیل می‌شود. با حرکت سیال در سیستم هیدرولیک، انرژی آن کاهش می‌یابد. کاهش انرژی سیال هیدرولیک، به صورت کاهش فشار سیال مشاهده می‌شود. بخشی از عواملی که باعث افت فشار سیال هیدرولیک می‌شود:

* اصطکاک بین سیال و دیواره
* وجود اتصالات (شیرها، زانویی، انقباض و . . .)
* اصطکاک بین ذرات سیال
* نشتی سیستم

جمع افت فشار ناشی از تمام عوامل، می‌شود افت فشار کل سیستم.

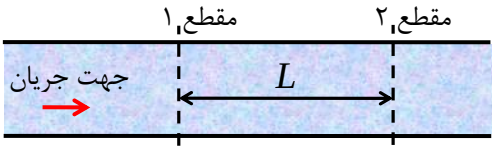
موضوع افت فشار در سیستم‌های هیدرولیک، به دلیلی که در ادامه می‌آید مهم است: فرض کنید یک سیستم هیدرولیک، یک جک هیدرولیکی دارد که این جک قرار است یک وزنه را بلند کند. برای این‌که جک درست کار کند و بتواند وزنه را بلند کند، باید سیالی با فشار مثلاً 10bar به آن وارد شود. حال اگر پمپ فشار 10bar را تولید کند، از آن‌جا که سیال هیدرولیک، در حین انتقال از پمپ تا محل جک هیدرولیکی (به دلیل گذشتن از لوله‌ها، شیرها و سایر اتصالات) دچار افت فشار می‌شود، احتمال دارد فشار سیال هنگامی که به محل جک می‌رسد مثلاً 9bar باشد و جک به خوبی نتواند وزنه را بلند کند. لذا باید افت فشار در مسیرها را محاسبه نمود تا پمپ به اندازه‌ی کافی فشار تولید کند. مثلاً اگر افت فشار سیال بین پمپ و جک هیدرولیکی 2bar باشد، و جک نیاز به فشار 10bar داشته باشد، آن‌گاه پمپ باید فشار 12bar تولید نماید.

افت فشار در لوله‌ی مستقیم:

در یک لوله‌ی مستقیم، فشار سیال در اثر اصطکاک بین سیال و لوله، کاهش می‌یابد. میزان کاهش فشار بین دو مقطع از لوله، از رابطه‌ی روبرو به دست می آید: $\Delta P = \rho\, f \frac{L}{D}\frac{V^2}{2}$

ΔP افت فشار سیال (پاسکال) V سرعت سیال (متر بر ثانیه) L طول لوله (متر)

ρ چگالی سیال (کیلوگرم بر متر مکعب) f ضریب اصطکاک که از دیاگرام «مودی» به دست می‌آید



دیاگرام مودی در ضمیمه‌ی این جزوه آمده است. برای یافتن مقدار f از این دیاگرام، باید مقدار عدد رینولدز و زبری نسبی لوله را داشته باشیم. عدد رینولدز که قبلاً تعریف شد. زبری نسبی لوله، از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\text{زبری نسبی} = \frac{e}{D}$$

در رابطه‌ی بالا، D قطر لوله (بر حسب متر) و e زبری مطلق لوله (بر حسب متر) است. زبری مطلق لوله ارتفاع میانگین برجستگی‌هایی است که در در سطح لوله وجود دارد. مثلاً لوله‌ای که از داخل دچار زنگ‌زدگی شده یا رسوب گرفته است، زبری آن بالا می‌رود. مقدار زبری لوله برای لوله‌های مختلف را در منابع علمی می‌توان پیدا کرد. در امتحان این درس نیز، مقدار زبری مطلق داده می‌شود. اگر در جایی گفته شد، زبری لوله مثلاً $0.0001m$ است یعنی «زبری مطلق» این مقدار است.

تذکر مهم در دیاگرام مودی: اگر جریان آرام باشد، در دیاگرام مودی باید f را از خط مستقیمی که در سمت چپ نمودار است بیابیم. هم‌چنین در حالت آرام نیازی به دانستن زبری لوله نیست و تنها با داشتن عدد رینولدز می‌توان ضریب اصطکاک را یافت.

****

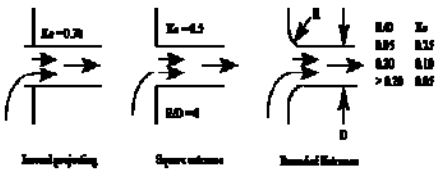
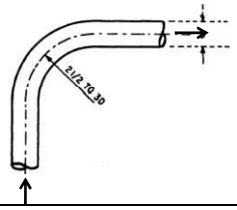
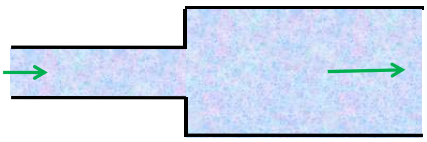
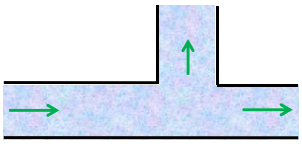
مثال: اگر در یک لوله، عدد رینولدز ۲۰۰۰ و زبری لوله ۲ میلی‌متر باشد، ضریب اصطکاک چقدر است؟

پاسخ: چون عدد رینولدز کم‌تر از ۲۳۰۰ است پس جریان آرام است. پس اصلاً نیازی هم به دادن زبری لوله نبوده است و زبری لوله، اطلاعات اضافی است. به دیاگرام مودی رجوع می‌کنیم. برای جریان آرام با عدد رینولدز ۲۰۰۰ (خط مستقیم سمت چپ نمودار) ضریب اصطکاک ۰/۰۳۲ است.

****

افت فشار در اجزای سیستم های سیالی:

اجزای مختلفی که در سیستم های سیالی وجود دارد و هر یک افت فشاری را ایجاد می کند، به صورت زیر است.

عامل افت فشار	شکل	عامل افت فشار	شکل
ورودی و خروجی		خم‌ها و زانوها	
تغییر سطح مقطع جریان		سه راهی و چند راهی	
توری و صافی		شیرها	

افت فشار هر جزء در سیستم سیالی، به یکی از دو روش زیر بیان می‌شود:

۱- **طول معادل لوله مستقیم:** در این حالت، در شرایط مختلف برای جزء مربوطه، طول‌های مختلفی ارائه می‌شود که کافی است با آن طول، افت فشار لوله مستقیم را حساب کنیم. لذا افت فشار آن جزء به دست می‌آید. یعنی مثلاً می‌گویند افت فشار این شیر برابر است با افت فشار مثلاً ۵ متر لوله‌ی مستقیم. یعنی به جای محاسبه‌ی افت فشار این شیر، کافی است افت فشار ۵ متر لوله‌ی مستقیم را محاسبه کنیم. این طول را طول معادل (L_{eq}) گویند. یا به

عنوان مثال، اگر طول معادل یک زانوییِ ۴۵ درجه، ۲ متر باشد؛ افت فشاری که این زانویی ایجاد می کند، برابر با افت فشار ۲ متر لوله‌ی مستقیم در همان شرایط است (با همان سرعت و مشخصات سیال زانویی).

۲- **انرژی معادل:** در این حالت، در شرایط مختلف برای جزء مربوطه، مقدار کمیت $k_e = f\frac{L}{D}$ داده می‌شود. با داشتن این کمیت، افت فشار آن جزء، از رابطه‌ی افت فشارِ لوله‌ی مستقیم که قبلا گفته شد، به دست می آید.

** افت فشار مجموع در یک سیستم، از جمع افت فشار تمام اجزا و لوله های مستقیم به دست می آید.

****

مثال: در یک سیستم هیدرولیکی، بین پمپ (که فشار سیال را بالا می برد) و بین مصرف کننده‌ی نهایی فشار (مثلاً جک هیدرولیکی) قسمت های زیر وجود دارد:

- ✓ ۲۰ متر لوله‌ی مستقیم
- ✓ ۲ زانویی ۹۰ درجه که برای هر کدام داریم $L_{eq} = 1.5m$
- ✓ ۴ شیر که برای هر کدام داریم $k_e = 0.6$

فشار در جک هیدرولیکی باید ۲۰ هزار پاسکال باشد تا سیستم درست کار کند. پمپ باید چه فشاری را تأمین کند؟

سرعت سیال در لوله 0.2m/s قطر لوله 0.1m چگالی سیال $800kg/m^3$ زبری لوله e=0.001m

پاسخ: ابتدا افت فشار شیرها را می یابیم. رابطه افت فشار به صورت زیر است:

$$\Delta P = \rho f \frac{L}{D}\frac{V^2}{2}$$

برای شیرها، مقدار k_e (که همان $f\frac{L}{D}$ است) داده شده است لذا داریم:

$$\Delta P = \rho f \frac{L}{D}\frac{V^2}{2} = \rho k_e \frac{V^2}{2}$$

با جاگذاری مقادیر، برای هر شیر داریم:

$$\Delta P = \rho k_e \frac{V^2}{2} = 800 \times 0.6 \times \frac{(0.2)^2}{2} = 9.6Pa$$

از آنجا که ۴ شیر داریم، جمع افت فشار شیرها می‌شود: $\Delta P_{valve} = 9.6 \times 4 = 38.4Pa$

افت فشار هر زانویی، معادل با افت فشار 1.5m لوله‌ی مستقیم است. پس به جای محاسبه‌ی افت فشار زانویی ها، مقدار ۳ متر، به طول لوله های مستقیم اضافه می کنیم. پس فرض می کنیم ۲۳ متر لوله‌ی مستقیم داریم. برای محاسبه‌ی افت فشار ابتدا باید مقدار ضریب اصطکاک (f) را بیابیم. ابتدا باید عدد رینولدز را بیابیم تا ببینیم جریان آرام است یا مغشوش.

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{800 \times 0.2 \times 0.1}{0.00125} = 12800$$

پس جریان مغشوش است. زبری لوله e=0.001m است. پس زبری نسبی می‌شود: $\frac{e}{D} = \frac{0.001}{0.1} = 0.01$

از دیاگرام مودی داریم f=0.042 حال افت فشار ۲۳ متر لوله‌ی مستقیم می‌شود:

$$\Delta P_{Tube} = \rho f \frac{L}{D}\frac{V^2}{2} = 800 \times 0.042 \times \frac{23}{0.1} \times \frac{(0.2)^2}{2} = 154.56Pa$$

افت فشار کل سیستم، جمع افت فشار لوله‌ی مستقیم و شیرها می‌شود:

$$\Delta P = \Delta P_{Tube} + \Delta P_{Valve} = 154.56 + 38.4 = 193Pa$$

در نهایت، فشار ۲۰ هزار پاسکال در محل جک هیدرولیکی مورد نیاز است. لذا پمپ باید فشار ۲۰۱۹۳ پاسکال را تأمین کند.

****

نکته‌ی بسیار مهم: میزان افت فشار در هر یک از اجزای سیستم (شیرها، زانویی، ورودی و . . .) در مراجع علمی آمده است.

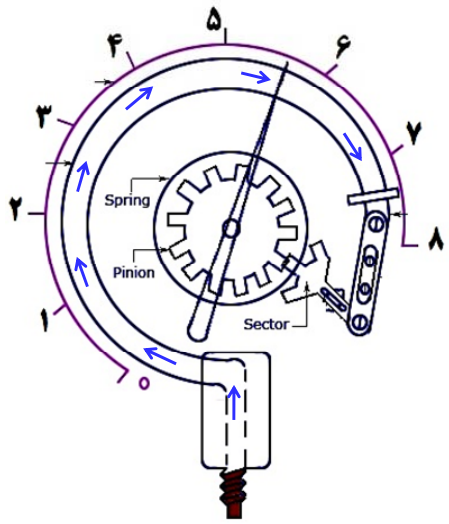
در صورت نیاز، باید از این مراجع استفاده نمایید. یک نمونه کتاب مرجع: «مقدمه‌ای بر مکانیک سیالات»، تألیف فاکس و همکاران. مترجم: بهرام پوستی. در امتحان این درس، مقادیر افت فشار اجزاء داده می‌شود و نیازی به آوردن کتاب مرجع نیست.

۳-۶- فشارسنج‌ها

فشارسنج دستگاه کوچکی است که فشار سیال را در هر نقطه اندازه می گیرد. در ادامه به چند نمونه فشارسنج اشاره می‌شود

فشارسنج مایعی یا مانومتری:

این دستگاه شامل یک لوله‌ی U شکل است که در شکلی که در جدول زیر آمده است، مشاهده می‌گردد. مایع درون لوله معمولاً جیوه است. لوله‌ی U شکل را به جایی که می‌خواهند فشار آن را اندازه بگیرند وصل می‌کنند. مایع درون لوله در شاخه‌ی سمت راست بالا می‌رود. بر اساس میزان بالا رفتن جیوه، فشار سیال به دست می‌آید. روی لوله‌ی عمودی، درجه بندی شده و می توان میزان فشار را خواند.

فشارسنج مایعی یا مانومتری	فشارسنج لوله‌ی بوردُن
	

فشارسنج لوله‌ی بوردُن:

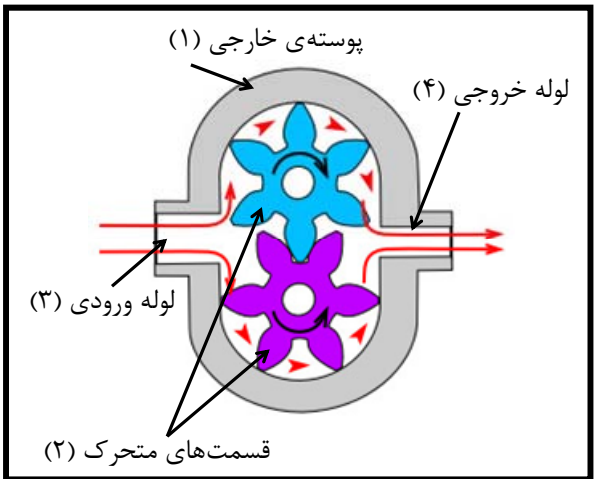
این دستگاه یک لوله‌ی حلقوی دارد که سیال وارد آن می‌شود؛ یعنی باید ابتدای این لوله‌ی حلقوی را به جایی که قرار است فشار آن اندازه‌گیری شود وصل کرد. در شکل موجود در جدول بالا، مسیر لوله‌ی حلقوی با چند پیکان نشان داده شده است. انتهای لوله‌ی حلقوی بسته است. وقتی سیال پر فشار وارد لوله می‌شود، انتهای بسته‌ی لوله را به بالا می کشد. عقربه‌ی فشارسنج حرکت کرده و فشار را نشان می دهد.

فشارسنج های مانومتری و لوله‌ی بوردن که به آن ها اشاره شد، از پرکاربردترین انواع فشارسنج ها هستند. در زیر، تعدادی دیگر از فشارسنج ها نام برده شده است:

۱- فشارسنج لوله‌ی حلقوی (Helical Tube)
۲- فشارسنج لوله‌ی حلزونی (Spiral Tube)
۳- فشارسنج های خازنی
۴- فشارسنج های پیزوالکتریک

۴- هیدروپمپ‌ها

در این بخش، به معرفی هیدروپمپ‌ها می‌پردازیم. پمپ، انرژی مکانیکی را به انرژی هیدرولیکی تبدیل می کند. انرژی هیدرولیکی پس از پمپ، در هیدروموتورها و سیلندرهای هیدرولیکی مصرف می شود. هر پمپ، به طور کلی دارای قسمت های زیر است (شماره‌ی هر قسمت، در روی شکل زیر نیز نشان داده شده است):



۱- پوسته خارجی که قسمتهای اصلی پمپ در داخل آن قرار دارد. ۲- قسمت متحرک که معمولا حرکت دورانی دارد.
۳- لوله‌ی ورودی که سیال کم فشار از آن وارد می شود. ۴- لوله‌ی خروجی که سیال پرفشار از آن خارج می شود.

دو نوع کلی پمپ‌ها عبارتند از:

۱- پمپ‌های با جابجایی غیرمثبت (هیدرودینامیکی):

در این پمپ ها لَقّی بین قسمت متحرک و پوسته ی خارجی زیاد است. اگر فشار سیستم بالا باشد، دبی این پمپ ها کم می شود، لذا برای سیستم های هیدرولیکی مناسب نیستند. این پمپ ها برای سیستم های با فشار پایین و دبی بالا مفید است (مثل انتقال آب شهری). فشار تولیدی این پمپ ها 250-300 psi می باشد.

۲- پمپ‌های با جابجایی مثبت:

این پمپ ها فشارهای بسیار بالاتری را تولید می کنند. در این پمپ ها با تغییر فشار تولیدی پمپ، بازده پمپ تغییر چندانی نمی کند. در پمپ های با جابجایی غیرمثبت، با تغییر فشار تولیدی پمپ، بازده نیز تغییر قابل ملاحظه ای می کند.

تذکر مهم: از این به بعد، پمپ های با جابجایی مثبت را «پمپ» می نامیم و عبارت «جابجایی مثبت» را برای اختصار، ذکر نمی‌کنیم؛ ولی در کل این درس، فقط با پمپ های با جابجایی مثبت کار خواهیم کرد.

پمپ های با جابجایی مثبت به دو دسته ی زیر تقسیم می شوند:

* پمپهای دوّار * پمپ‌های پیستونی

پمپ های دوّار به دو نوع زیر تقسیم می شوند:

- ✓ پمپ‌های دنده‌ای: در این پمپ ها، دبی حجمیِ تقریباً ثابتی توسط پمپ تولید می شود.
- ✓ پمپ‌های پره‌ای: در این پمپ ها، دبی حجمی، قابل تنظیم است.

انواع پمپ های دنده ای عبارتند از:

* پمپ های دنده خارجی * پمپ های دنده داخلی * پمپ های گوشواره‌ای
* پمپ های ژیروتور * پمپ های پیچی

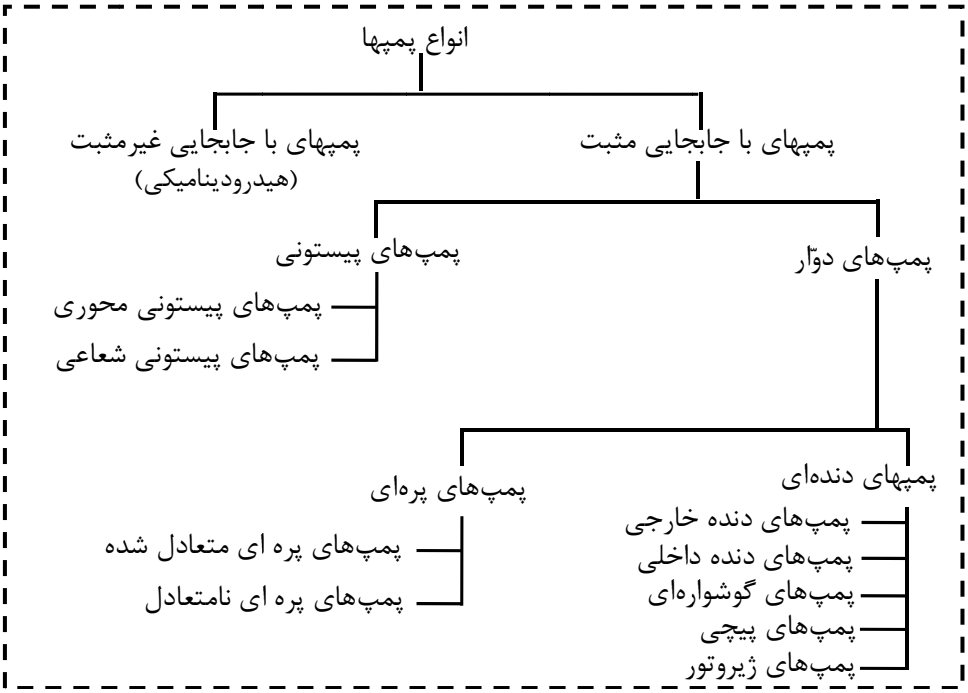
انواع پمپ های پره ای عبارتند از:

* پمپ های پره ای متعادل شده * پمپ های پره‌ای نامتعادل

پمپ‌های پیستونی به دو نوع تقسیم می‌شوند:

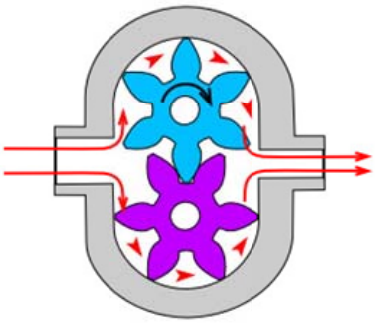
* پمپ‌های پیستونی محوری * پمپ های پیستونی شعاعی

نمودار انواع پمپ‌ها جهت راحتی فهم، در زیر ارائه شده است:



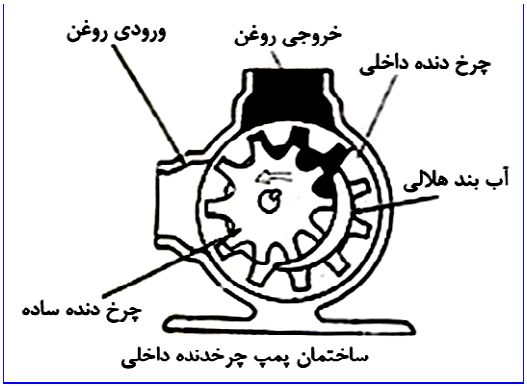
پمپ‌های دنده خارجی:

در این پمپها، یکی از چرخدنده ها توسط نیروی خارجی می چرخد و چرخنده‌ی دیگر، توسط چرخدنده‌ی محرّک می‌چرخد (شکل زیر). میزان لقی بین سَرِ دندانه و پوسته، حدودا 0.02mm است. وجود لقی باعث می‌شود دبی خروجی پمپ کمتر از میزان تئوری شود. یعنی مقداری نشتی وجود خواهد داشت که این میزان را «نشتی داخلی» یا «لغزش پمپ» می‌گویند. این پمپ ها می تواند فشارهای 1000 تا 3000psi را تولید نماید. اگر چرخدنده ها ساییده شوند، بازده پمپ کاهش می‌یابد.



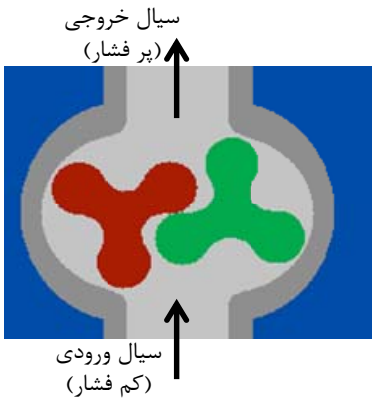
پمپ‌های دنده داخلی:

این پمپ ها، دارای دنده های داخلی هستند. یعنی یک چرخدنده با دنده‌ی خارجی که در داخل چرخدنده ای با دنده‌ی داخلی می چرخد. چرخدنده داخلی نیروی محرکه دارد و چرخدنده ساده را نیز می چرخاند. این پمپ ها بیشتر در فشارهای کمتر از 1000psi استفاده می‌شود. پمپ های با دنده‌ی داخلی و چند مرحله ای، تا فشار 4000psi نیز تأمین می کنند. آب‌بند هلالی حرکتی ندارد. کاهش بازده در اثر سایش دنده ها، در پمپ های با دنده‌ی داخلی بیشتر از پمپ های با دنده‌ی خارجی است.



پمپ‌های گوشواره‌ای (Lobe Pumps):

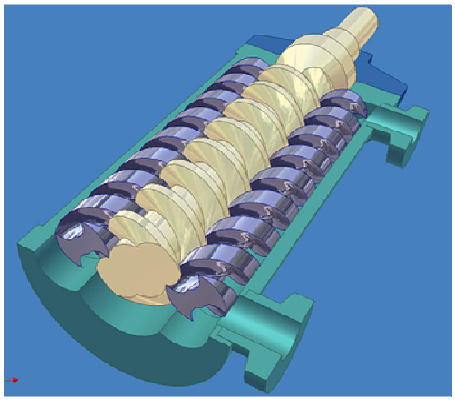
این پمپ ها بسیار شبیه به پمپ های دنده خارجی هستند. دو قطعه‌ی چرخان را گوشواره گویند. هر دو گوشواره دارای نیروی محرّکه هستند. به همین دلیل آرام تر و بی صداتر از پمپ های دنده خارجی کار می کنند. جریان خروجی دارای ضربه (مثل ضربان قلب) است (جریان ضربانی)، زیرا گوشواره ها تماس بسیار کمی با هم دارند.



پمپ‌های پیچی (Screw Pumps):

در این پمپ، سه پیچ دقیق (سنگ خورده) درون محفظه ای آب بندی شده با هم درگیر هستند. به همین دلیل، جریانی کاملاً آرام و بدون ضربان تولید می‌کند. از جمله مزایای این پمپ عبارتند از:

۱- حرکت بدون صدا و ارتعاش ۲- توانایی پمپاژ مخلوط آب و روغن ۳- عدم ایجاد اغتشاش زیاد در خروجی



پمپ‌های ژیروتور (Gerotor Pumps):

این پمپها بسیار شبیه به پمپ‌های دنده‌داخلی هستند. یک عضو ژیروتور در داخل چرخدنده داخلی قرار دارد. عضو ژیروتور، دارای نیروی محرکه است و چرخدنده داخلی را نیز می‌گرداند. عضو ژیروتور یک دندانه کمتر از چرخدنده‌ی داخلی دارد (در شکل زیر، عضو ژیروتور چهار دندانه و چرخدنده‌ی داخلی پنج دندانه دارد و عضو ژیروتور در داخل چرخدنده‌ی داخلی است).

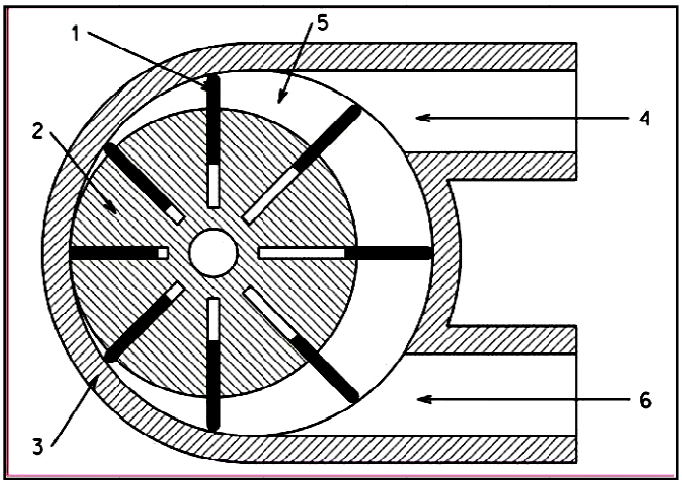
پمپ‌های پره‌ای:

پمپ های پره‌ای، برای تولید فشارهای متوسط استفاده می شوند. سرعت چرخش این پمپ ها 1200 تا 1750rpm است و در موارد خاص به 2400rpm هم می رسند (rpmیعنی دُور بر دقیقه). این پمپ ها را می توان بدون جدا کردن لوله های ورودی و خروجی تعمیر کرد. پمپ های پره ای، شامل قسمت های زیر است که در شکل نیز مشخص شده است:

۱- تیغه ها، که در یک شیار قرار دارند و تحت نیروی گریز از مرکز، بیرون می آیند.

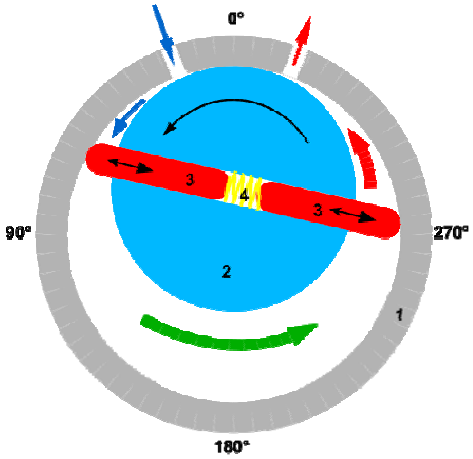
۲- استوانه‌ی دوّار که تیغه ها را می چرخاند. ۳- پوسته‌ی بیرونی ۴- ورودی سیال (سیال کم فشار)

۵- فضایی که سیال در آن حرکت می کند. ۶- خروجی سیال (سیال پر فشار)



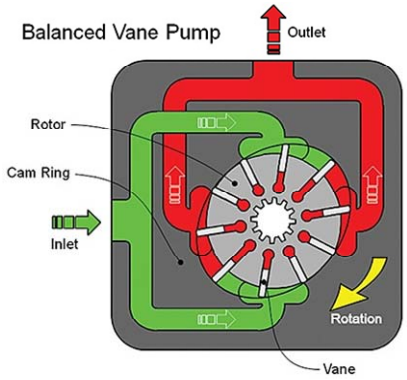
خروج از مرکز در پمپ‌های پره‌ای:

شکل زیر، یک نمونه‌ی دیگر از پمپ پره‌ای است که در حقیقت دو تیغه دارد. در شکل زیر، استوانه‌ی چرخان یک دایره است که یک مرکز دارد. پوسته‌ی بیرونی نیز یک دایره است که یک مرکز دارد. فاصله‌ی مرکز استوانه‌ی چرخان تا مرکز پوسته‌ی بیرونی را خروج از مرکز گویند. میزان دبی که پمپ تولید می کند بستگی به مقدار خروج از مرکز دارد. اگر خروج از مرکز، صفر باشد، هیچ جریانی از خروجی پمپ خارج نخواهد شد. پمپ های پره ای که قابلیت تنظیم خروج از مرکز را دارند می توانند دبی های حجمی متفاوتی را تولید کنند. این پمپ ها را «جابجایی متغییر» یا «دبی متغیر» گویند. پمپ های پره ای، حداکثر می توانند فشار 3000psi را تولید کنند.



پمپ‌های پره‌ای متعادل:

در پمپ های پره ای، به دلیل وجود خروج از مرکز، یک نیروی اضافی به یاتاقان ها اعمال می‌شود. این نیروی اضافی در سرعت های بالا زیادتر شده و باعث خرابی یاتاقان ها می‌شود. برای حل این مشکل، از پمپ های پره ای متقارن (بالانس یا متعادل) استفاده می‌شود. در پمپ های پره ای متعادل، پوسته‌ی خارجی، بیضوی است. اِشکال این پمپ ها این است که نمی توانند دبی متغیر داشته باشند چون خروج از مرکز ندارند.



پمپ‌های پیستونی:

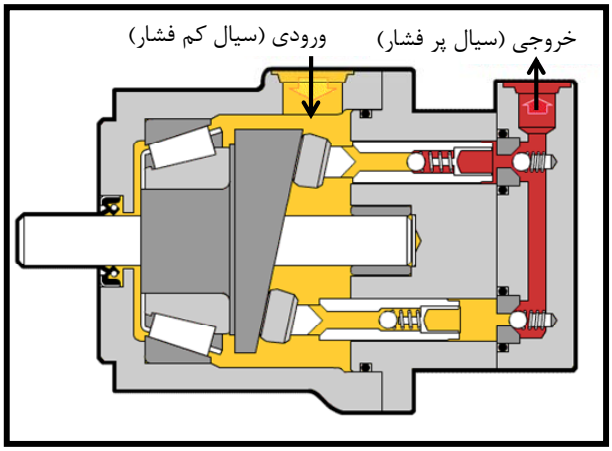
بخشی از مزایای پمپ های پیستونی عبارتند از:

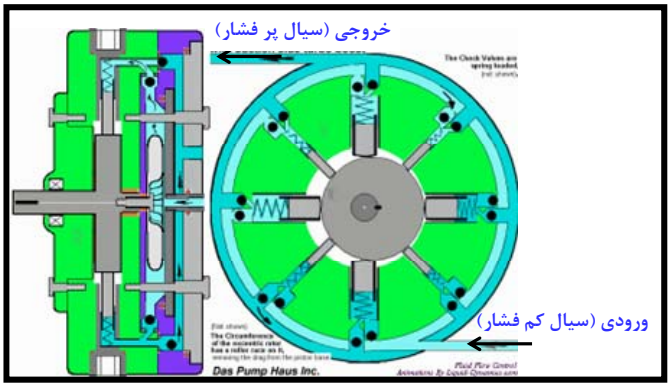
۱- نسبت توان به وزن بالا. ۲- بازدهی بالا. ۳- جریان بدون ضربان. ۴- عمر طولانی.

بخشی از معایب پمپ های پیستونی عبارتند از:

۱- تعمیر مشکل (به دلیل ساختار پیچیده). ۲- قیمت بالا.

در تصویر سمت راست از شکل زیر، یک پمپ پیستونی محوری و در تصویر چپ، یک پمپ پیستونی شعاعی مشاهده می‌شود.





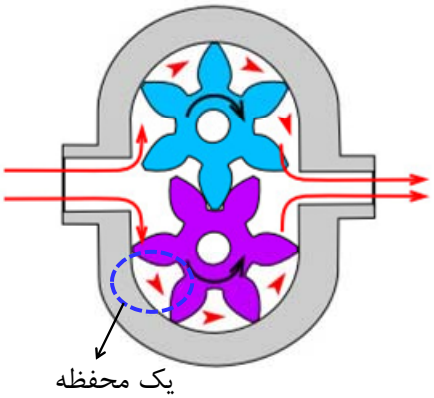
محاسبه‌ی دبی پمپ:

دبی تولید شده در پمپ، بستگی به سرعت چرخش پمپ دارد. دبی پمپ از رابطه‌ی زیر به دست می آید.

$$Q = i \times \forall \times n$$

Q دبی پمپ (متر مکعب بر ثانیه) $\forall$ حجم هر محفظه (متر مکعب) n سرعت چرخش پمپ (دور بر ثانیه)

i تعداد محفظه در هر دور چرخش پمپ (در شکل زیر، یک محفظه نشان داده شده است)



در شکل بالا، اگر پمپ یک دور بچرخد، هر یک از چرخدنده ها، ۶ محفظه سیال را وارد خروجی می‌کند (در مجموع ۱۲ محفظه). لذا برای این پمپ داریم: i=12

****

مثال: شکل زیر، یک پمپ را نشان می دهد. حجم هر محفظه در این پمپ، ۰/۰۱ مترمکعب است. اگر بخواهیم دبی ۲ متر مکعب بر ثانیه تولید شود، پمپ با چه سرعتی باید چرخانده شود؟

پاسخ: هر یک از گوشواره ها ۳ محفظه دارد لذا در مجموع ۶ محفظه وجود خواهد داشت و داریم i=6

$$\forall = 10^{-2} m^3 \qquad Q = 2\frac{m^3}{s} \qquad \text{i=6}$$

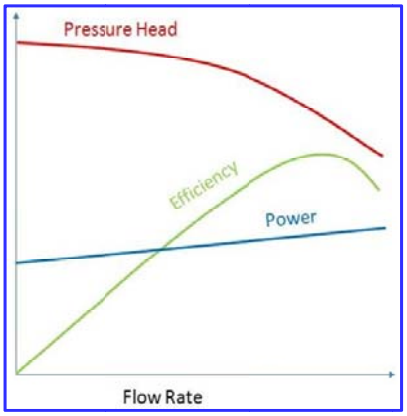
$$Q = i \times \forall \times n \quad \rightarrow \quad 2 = 6 \times 10^{-2} \times n \quad \rightarrow \quad n = 33.3\frac{rev}{s}$$

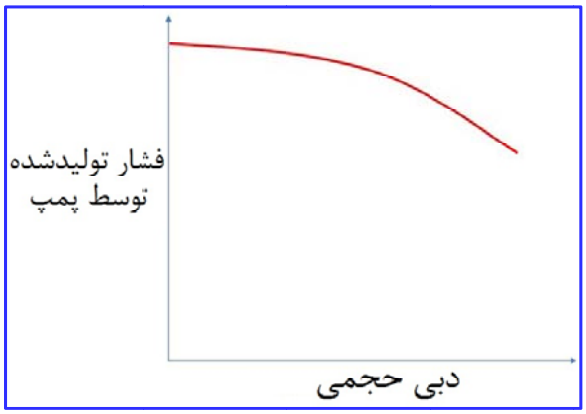
$\frac{rev}{s}$ یعنی «دور بر ثانیه». پس پمپ باید با سرعت ۳۳ دور در ثانیه (معادل با ۲۰۰۰ دور در دقیقه) بچرخد.

****

محاسبه‌ی فشاری که پمپ می‌تواند تولید کند:

با داشتن دبی پمپ، می توان از روی منحنی مشخصه‌ی پمپ، فشار آن را یافت. هر پمپ یک منحنی مشخصه دارد که شرکت سازنده‌ی پمپ، آن را ارائه می کند. در زیر، دو نمونه از منحنی های مشخصه‌ی یک پمپ خاص ارائه شده است:





محاسبه‌ی توان پمپ:

توان مورد نیاز برای کار کردن پمپ از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$w = Q \times \Delta P$$

w توان مورد نیاز برای کارکرد پمپ (وات)

Q دبی حجمی که پمپ تولید می کند (مترمکعب بر ثانیه)

ΔP فشاری که پمپ ایجاد می کند (پاسکال)

بازده پمپ:

بازده پمپ ها به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\text{بازده حجمی} = \frac{\text{میزان دبی واقعی پمپ}}{\text{دبی تئوری که باید تولید کند}} \times ۱۰۰$$

$$\text{بازده مکانیکی} = \frac{\text{توان تئوری مورد نیاز جهت کار کردن پمپ}}{\text{توان واقعی مورد نیاز جهت کار کردن پمپ}} \times ۱۰۰$$

$$\text{بازده کلّی} = \frac{\text{بازده حجمی} \times \text{بازده مکانیکی}}{۱۰۰}$$

هر پمپ بازده خاصی دارد و معمولا بازده کلّی پمپ ها، بالای ۸۰٪ است.

****

مثال: پمپی در دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه، فشار سیال هیدرولیک را ۷ بار افزایش می دهد. اگر بازده مکانیکی پمپ ۸۵٪ باشد، الکتروموتور با چه توانی لازم است تا پمپ را بچرخاند؟

پاسخ: ابتدا واحدها را به حالت استاندارد بر می‌گردانیم.

$$Q = 35\frac{lit}{s} = 35\frac{lit}{s}\times\frac{1m^3}{1000lit} = \frac{35}{1000}\frac{m^3}{s} = 0.035\frac{m^3}{s} \qquad \Delta P = 7bar = 7bar\times\frac{10^5 Pa}{1bar} = 7\times10^5 Pa$$

حال توان تئوری پمپ می‌شود:

$$w = Q\times\Delta P = 0.035\times7\times10^5 = 24500W$$

حال توان واقعی پمپ با توجه به بازده مکانیکی به دست می آید:

$$\text{بازده مکانیکی} = \frac{\text{توان تئوری مورد نیاز جهت کار کردن پمپ}}{\text{توان واقعی مورد نیاز جهت کار کردن پمپ}} \times ۱۰۰$$

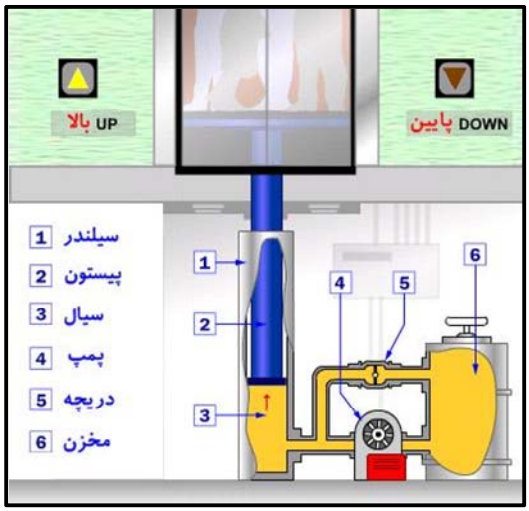
$$85 = \frac{24500}{x}\times100 \longrightarrow x = \frac{24500\times100}{85} = 28824W = 28.8kW$$

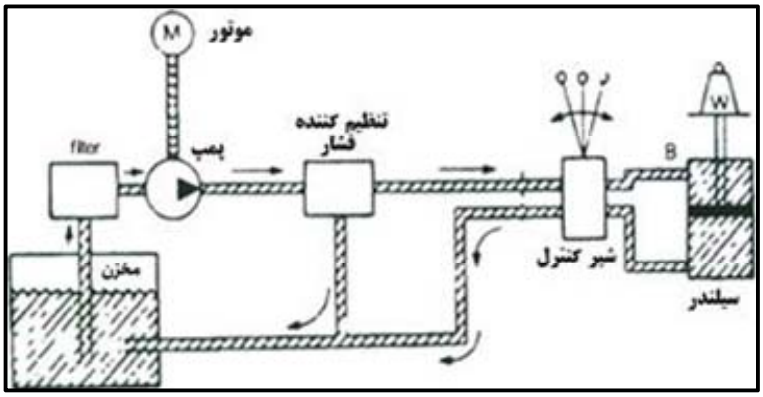
پس الکتروموتوری با توان ۸/۲۸ کیلووات نیاز است تا پمپ را بچرخاند.

****

۵– مخزن

مخزن، فضایی است که سیال هیدرولیک در آن ذخیره می‌شود. در دو شکل زیر، دو سیستم هیدرولیک نشان داده شده است. شکل سمت چپ، ساختار یک بالابر است که مخزن در آن مشخص است. در شکل سمت راست نیز، موقعیت مخزن نسبت به سایر اجزای یک سیستم هیدرولیکی نشان داده شده است.



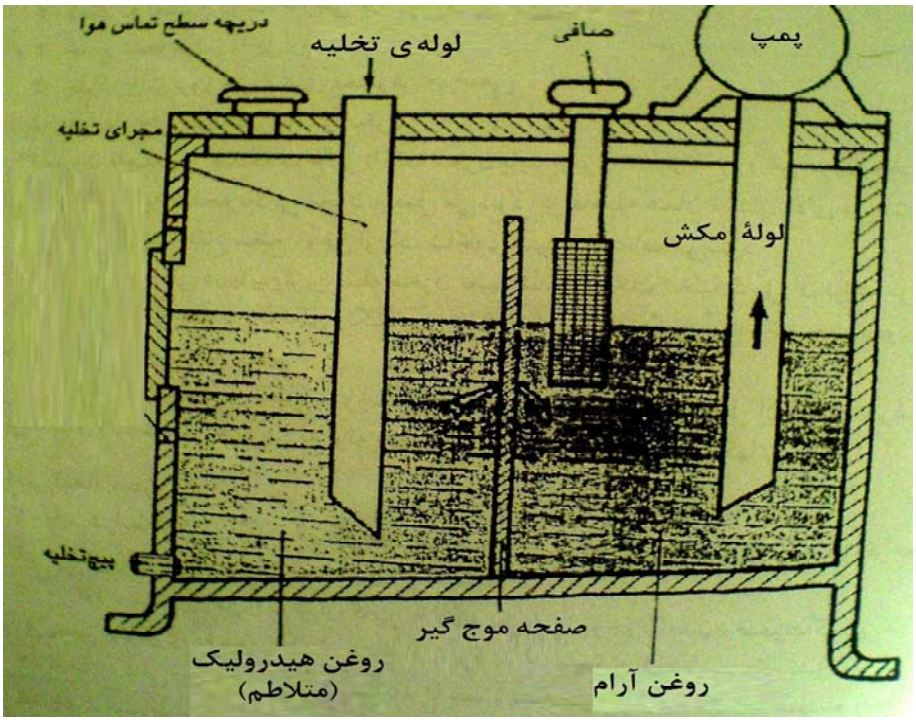


کارهایی که مخزن انجام می‌دهد به صورت زیر است:

۱- محل ذخیره سیال هیدرولیک.۲- ته نشین شدن ذرات معلق موجود در روغن هیدرولیک (لجن، آب، ذرات فلزی و غیره).

۳- خارج کردن حبابهای هوا از داخل سیال هیدرولیک (حباب ها از بالای مخزن خارج میشوند).

شکل مخزن به صورت زیر است (اجزای مهم مخزن، در ادامه، توضیح داده خواهد شد):



لوله‌ی مکش:

پمپ، از این لوله سیال هیدرولیک را مکش می کند. اگر لوله‌ی مکش بیش از حد به سطح سیال در مخزن نزدیک باشد، ممکن است مقداری هوا مکش کند.

لوله‌ی تخلیه:

وقتی پمپ فشار سیال را زیاد کرد، سیال پرفشار پس از انجام کارهای خود در سیستم هیدرولیک، کم فشار می‌شود و از طریق لوله‌ی تخلیه، مجددا به مخزن وارد می‌شود. لوله تخلیه باید زیر سطح روغن باشد وگرنه سیال کف می کند.

صفحه‌ی موج‌گیر (Baffle Plate):

این صفحه مخزن را به دو قسمت تقسیم می کند. قسمتی که سیالِ کارکرده به آنجا وارد می‌شود و قسمتی که سیال از آنجا مکش می‌شود. وظایف مهم صفحه‌ی موج گیر به صورت زیر است:

۱- اجازه نمی دهد، سیال پس از ورود به مخزن، به طور سریع وارد لوله‌ی مکش شود.

۲- دفع بهتر حرارت از دیواره های مخزن

۶- روغن‌های هیدرولیکی

آب، اولین سیالی است که در سیستم های هیدرولیکی مورد استفاده قرار گرفت. استفاده از آب در سیستم های هیدرولیک، معایب زیر را دارد:

۱-محدوده‌ی کمِ درجه‌ی حرارت قابل تحمل ۲-باعث زنگ‌زدگی تجهیزات می‌شود ۳-خواص روانکاری ضعیف

از چند دهه‌ی گذشته، از روغن به عنوان سیال هیدرولیک استفاده می‌شود. از ویژگی های مهم روغن های هیدرولیک، لزجت و چگالی می باشد که قبلا این دو کمیت تعریف گردید. اگر روغن هیدرولیک، دارای لزجت پایین باشد، این معایب ایجاد می‌شود: ۱- وجود نشتی. ۲- کاهش بازده حجمی. ۳- روانکاری کم. ۴- ورود راحت تر هوا به داخل سیال.

مزیت لزجت پایین نیز این است که پمپ راحت‌تر کار می‌کند و افت فشار کم‌تری ایجاد می‌شود. در مجموع، لزجت باید در محدوده مشخصی باشد (نه خیلی زیاد و نه خیلی کم).

شاخص لزجت:

قبلا گفتیم که لزجت مایعات، با افزایش دما کم می‌شود. «شاخص لزجت» یعنی شدت تغییرات لزجت نسبت به دما. هر چه «شاخص لزجت» بالاتر باشد، یعنی لزجت آن سیال، با افزایش دما، کم‌تر تغییر می‌کند. شاخص لزجت روغن های هیدرولیک

بالای ۸۰ است. هر چه شاخص لزجت سیال هیدرولیک بیشتر باشد، بهتر است؛ چون با تغییر لزجت، عملکرد سیستم افت می‌کند. قبلا گفتیم که لزجت مایعات، با افزایش دما کم می‌شود. در جدول زیر، دو روغن «الف» و «ب» با شاخص های لزجت متفاوت، مقایسه شده اند.

نام سیال / دما ($^{\circ}C$)	لزجت روغنِ «الف» (شاخص لزجت ۴۵)	لزجت روغنِ «ب» (شاخص لزجت ۷۰)
۵۰	0.001	0.02
۲۰	0.01	0.03

ایجاد کف در سیال هیدرولیک:

در حین حرکت سیال هیدرولیک در سیستم، مقداری هوا وارد آن می‌شود. وجود حباب های هوا در داخل سیال، عملکرد سیستم را کاهش می دهد. هم چنین، در هنگام خروج هوا از سیال، در سطح سیال کف ایجاد می‌شود. با افزودن موادی، از ایجاد کف جلوگیری می‌شود.

تراکم‌پذیری سیال هیدرولیک:

در اثر افزایش فشار، حجم سیال کم می‌شود. مُدول بالک (B)، بیانگر میزان تغییر حجم سیال در اثر فشار است.

$$\text{مدول بالک} = \frac{\text{فشار سیال}}{\text{مقدار تغییر حجم تقسیم بر حجم اولیه}} \longrightarrow B = \frac{\Delta P}{(\Delta V/V)}$$

انبساط حرارتی و نقطه ریزش:

در اثر تغییرات دما، حجم سیال تغییر می کند. نقطه ریزش، کمیتی است که برای مایعات تعریف می‌شود و برای هر مایع، مقدار مخصوص به خود را دارد. نقطه ریزش: دمایی است که در کمتر از آن، مایع جاری نمی‌شود. پس اگر دما سیستم هیدرولیک به کمتر از دمای نقطه‌ی ریزش سیال برسد، عملاً پمپ نمی تواند سیال هیدرولیک را پمپاژ کند.

افزودنی‌های سیال هیدرولیک:

برای رفع برخی مشکلات، افزودنی‌هایی به سیال هیدرولیک اضافه می‌شود. به عنوان مثال:

* جلوگیری از ایجاد کف
* بهبود شاخص لزجت
* ضد سایش
* جلوگیری از اکسید شدن روغن
* ضد زنگ و ضد خوردگی

انواع روغن‌های هیدرولیکی:

انواع سیالاتی که در سیستم های هیدرولیک استفاده می‌شود به صورت زیر است:

۱- روغن های معدنی: مزایای این روغن‌ها عبارتند از: * قیمت مناسب. * مناسب بودن محدوده‌ی درجه حرارت کاری. * سهولت دسترسی. * قابلیت ارائه در لزجت های مختلف. * پایداری شیمیایی. عیب این روغن‌ها افزایش لزجت در فشارهای بالا است.

۲- محلول های شیری روغن در آب (Oil in water emulsion): این سیالات با اضافه کردن ذرات ریز روغن به آب به دست می آیند (درصد روغن بین ۲٪ تا ۵٪). مزایای این محلول‌ها عبارتند از * مقاومت خوب در برابر تراکم‌پذیری. * ضد اشتعال. * خنک کاری مطلوب. معایب این محلول‌ها عبارتند از: * کم بودن لزجت (که باعث ایجاد نشتی می‌شود). * روانکاری ضعیف. این سیالات، جایگزین خوبی برای روغن های معدنی نیستند.

۳- محلول های شیری آب در روغن (Water in Oil Emulsion): این سیالات با اضافه کردن قطرات ریز آب، به روغن به دست می آیند (درصد آب حدوداً ۴۰٪). دمای کاری این سیالات بهتر است که از $25^{\circ}C$ بیشتر نشود ولی تا $50^{\circ}C$ مجاز است. در سیستم هایی با این سیالات، نباید از آب بندهای بوتیل و نیز چوب پنبه استفاده کرد.

۴- سیال آب گلیکول (HFC): مزایای این سیال عبارتند از: * ضد اشتعال بودن. * ضد یخ (توانایی کارکرد در دماهای پایین). معایب این سیالات عبارتند از: * ناسازگار با رنگ‌ها. * روانکاری ضعیف‌تر نسبت به روغن‌های معدنی. * ناسازگاری با برخی فلزات مثل آلومینیوم، روی و . . . .

۵- فسفات اِستِر (HFDR): از مزایای این سیال ضد اشتعال بودن آن است. معایب آن عبارتند از: * ناسازگار با رنگ‌ها. * ناسازگاری با برخی فلزات مثل آلومینیوم.

سیالات هیدرولیکی بسیار متنوع هستند. در جدول زیر به چند نمونه‌ی دیگر از سیالات هیدرولیک نیز اشاره شده است (برخی از سیالاتی که در بالا به آن‌ها اشاره شد، در جدول زیر نیز آمده است).

تقسیم بندی سیالات هیدرولیک بر اساس

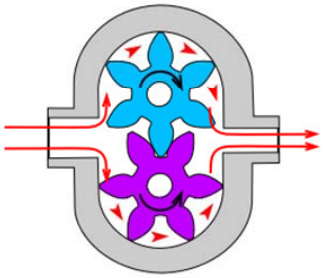
BS6413 Part 4; 1983, ISO 6743

HH	روغن معدنی بدون محلول اضافی
HL	روغن معدنی با خواص بهبود یافته بمنظور کاهش خاصیت زنگ زدگی و اکسیده شدن
HM	مانند نوع HL و با خواص بهبود یافته بمنظور کاهش خاصیت خورندگی
HR	مانند نوع HL و با خواص بهبود یافته لزجت – دما
HV	مانند نوع HM و با خواص بهبود یافته لزجت – دما
HS	سیالات ترکیبی بدون خواص ویژه مقاوم به آتش
HFAE	سیال با پایه آبی بالا با حداثر ۲۰٪ مواد احتراق پذیر
HFAS	مواد شیمیایی محلول در آب، محتوی بیش از ۸۰٪ آب
HFB	آب در روغن – قطرات آب در فاز پیوسته روغن (۶۰٪ روغن: ۴۰٪ آب)
HFC	پلیمر آبی – آب گلیکول (حداقل ۳۵٪ و حداکثر ۸۰٪ آب)
HFD	سیالات شیمیایی خاصل، بدون آب
HFDR	فسفات استرها
HFDS	هیدروکربنهای کلرینه شده
HFDT	مخلوطی از HFDR و HFDS

۷- موتورهای هیدرولیکی

عملگرهای هیدرولیکی وسایلی هستند که انرژی سیالی را به انرژی مکانیکی تبدیل می کنند. عملگرها به دو دسته‌ی کلی روبرو تقسیم می‌شوند: ۱- عملگرهای دورانی (موتورهای هیدرولیکی). ۲- عملگرهای خطی (سیلندرهای هیدرولیکی). در این بخش، موتورهای هیدرولیکی توضیح داده شده و در بخش بعد، سیلندرهای هیدرولیکی بررسی خواهد شد.

موتورهای هیدرولیکی (یا هیدروموتورها)، انرژی هیدرولیکی را به انرژی مکانیکی دورانی تبدیل می کنند. ساختار موتورهای هیدرولیکی دقیقا مشابه پمپ های هیدرولیکی است با این تفاوت که در موتورها، سیال باعث حرکت چرخدنده ها می‌شود. موتورهای هیدرولیکی در نهایت حرکت دورانی تولید می‌کنند. یک نمونه موتور هیدرولیکی در شکل زیر مشاهده می‌شود.

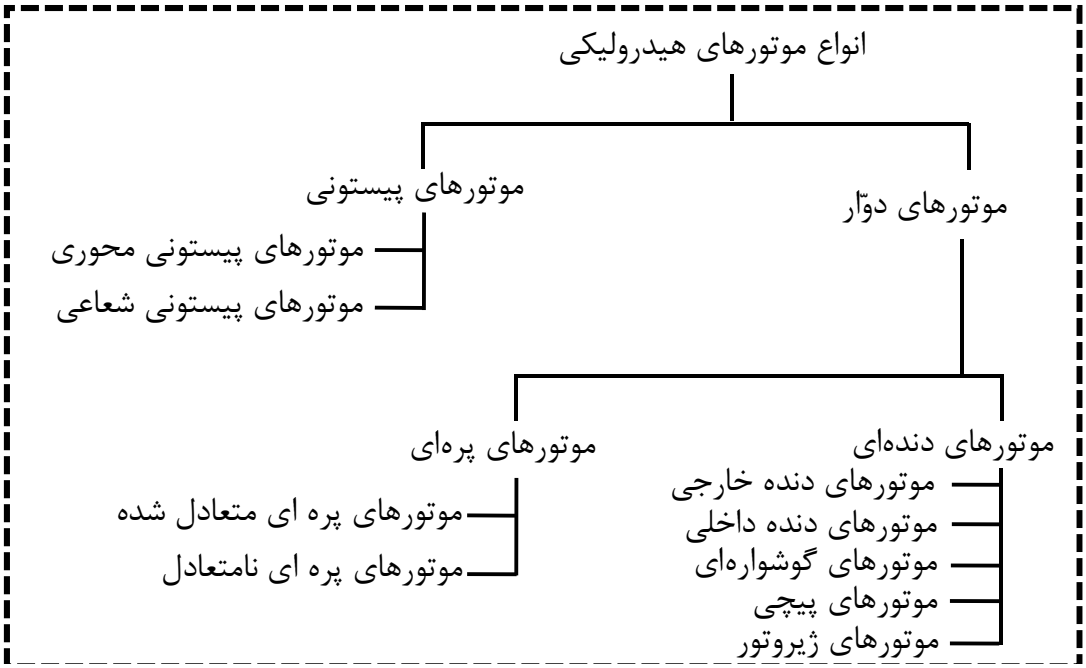


تذکر مهم:

۱- سرعت دوران ایجاد شده در هیدروموتور، به دبی سیال ورودی بستگی دارد.

۲- میزان گشتاور ایجاد شده در هیدروموتور، به فشار سیال ورودی بستگی دارد.

انواع موتورهای هیدرولیکی و دسته‌بندی آن، همانند پمپ‌های هیدرولیکی و مطابق نمودار زیر می‌باشد.



موتورهای دنده خارجی:

ظاهر این موتور، دقیقا مانند ظاهر پمپ دنده خارجی است (برای مشاهده‌ی ساختار موتور دنده خارجی، به شکل پمپ دنده خارجی مراجعه نمایید). سیال پرفشار از ورودی موتور، وارد شده و با عبور از بین چرخدنده ها، باعث چرخش آن ها می‌شود. موتورهای دنده خارجی می توانند در دو جهت حرکت تولید کنند، زیرا دو چرخدنده‌ی این موتور، در دو جهت مخالف هم می چرخند و در هر جهتی که حرکت را بخواهیم، کافی است محور را به همان چرخدنده وصل کنیم. می توان همزمان از هر دو چرخدنده هم حرکت گرفت.

موتورهای ژیروتوری:

ظاهر این موتور، دقیقا مانند ظاهر پمپ ژیروتور است (برای مشاهده‌ی ساختار موتور ژیروتوری، به شکل پمپ ژیروتوری مراجعه نمایید). در این موتورها، گشتاورهای بالا در سرعت های پایین ایجاد می‌شود.

موتورهای پیچی:

ظاهر این موتور، دقیقا مانند ظاهر پمپ پیچی است (برای مشاهده‌ی ساختار موتور پیچی، به شکل پمپ پیچی مراجعه نمایید). عملکرد این موتورها بسیار آرام است. در موتورهای هیدرولیکی دنده ای و پره ای، هر چه تعداد دنده ها و پره ها کمتر باشد، قدرت تولیدی موتور بیشتر است.

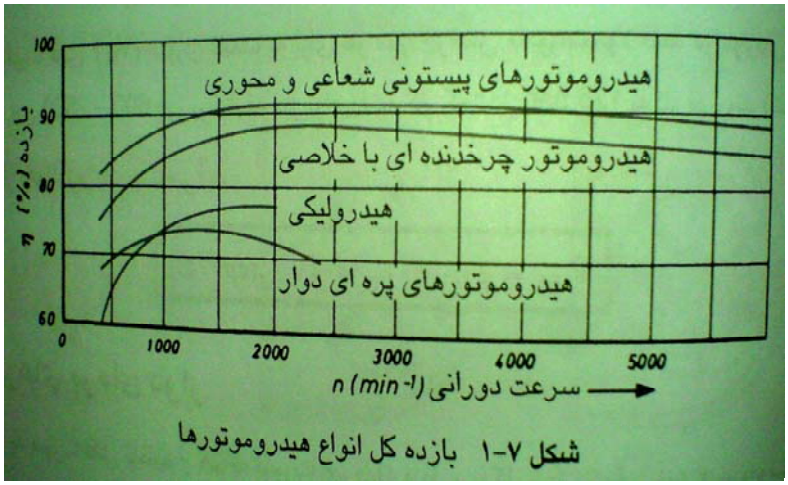
موتورهای پیستونی:

ظاهر این موتور، دقیقا مانند ظاهر پمپ پیستونی است. افزایش تعداد پیستون ها موجب افزایش گشتاور و نرم تر کار کردن موتور می‌شود. دو مزیت عمده‌ی موتورهای پیستونی نسبت به سایر موتورها عبارتند از:

۱- بازده بالا ۲- توانایی کار در فشارهای بالای سیال

موتورهای پیستونی نیز به دو دسته‌ی محوری و شعاعی تقسیم می شوند و از نظر شکل ظاهری، دقیقاً همانند پمپ‌های پیستونی محوری و شعاعی هستند. موتورهای پیستونی محوری برای کاربردهایی با تغییر مکرّر جهت دوران بسیار مفید است (به دلیل لختی دورانی ناچیز). در تصویر راست از شکل زیر، نمودار بازده چند هیدروموتور آورده شده است. هم‌چنین در تصویر چپ، نمودار فشارِ کاری چند هیدروموتور آمده است (فشارِ کاری یعنی فشار سیال، که هیدروموتور، در آن فشار می‌تواند تولید انرژی مکانیکی نماید).

شکل ۷-۲ هیدروموتورهای مختلف با فشار معمولی و بالا



شکل ۷-۱ بازده کل انواع هیدروموتورها

در انتخاب هیدروموتور باید به نکات زیر توجه داشت:

۱- دبی که هیدروموتور دریافت می کند (ثابت یا متغیر) ۲- محدوده‌ی گشتاور تولیدی هیدروموتور

۳- فشار کاری هیدروموتور (فشار معمولی و حداکثر فشار قابل تحمل) ۴- حداقل دبی لازم برای شروع به کار موتور

۵- محدوده‌ی سرعت دورانی هیدروموتور (حداکثر سرعت دورانی مجاز) ۶- جهت دوران (در یک جهت یا در هر دو جهت)

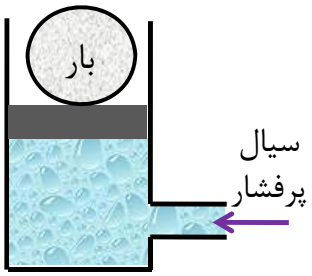
۷- بازده ۸- یکنواختی حرکت دورانی ۹- میزان صدای هیدروموتور

۸- سیلندرهای هیدرولیکی

سیلندرهای هیدرولیکی، انرژی سیال (ناشی از فشار بالا) را به حرکت خطی تبدیل می‌کنند. حرکت خطی سیلندر، کارکردهای زیر را دارد:

* اعمال یک نیرو در یک راستای خاص (جک هیدرولیکی) * بالا بردن یک بار

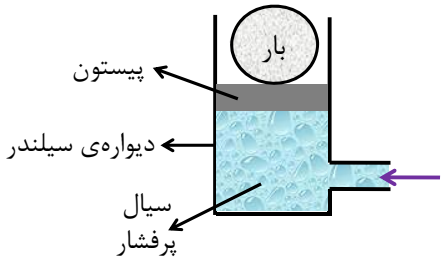
سیلندر هیدرولیکی در حقیقت یک سیلندر و پیستون عادی است که سیال پر فشار وارد آن شده و نیرویی به پیستون به سمت بالا وارد می‌کند.



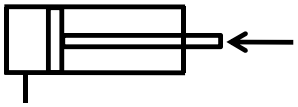
در ادامه، انواع سیلندرهای هیدرولیکی معرفی می‌گردند.

سیلندر یک‌کاره:

سیلندر یک کاره فقط در جهت رفت می تواند نیرو وارد کند. برگشت این سیلندر توسط وزن بار یا نیروی برگرداننده‌ی فنر می باشد. ساختار سیلندر یک کاره به صورت زیر است:



نماد سیلندر یک کاره (برگشت با نیروی خارجی) به صورت زیر است:



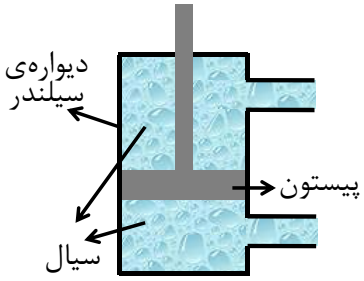
برگشت با نیروی خارجی، یعنی اگر پیستون توسط فشار سیال در جهت مربوطه حرکت کند؛ وقتی فشار سیال قطع شود، پیستون توسط یک نیروی خارجی به مکان اولیه برمی‌گردد.

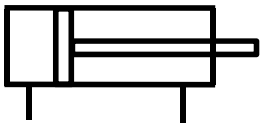
نماد سیلندر یک کاره (برگشت با فنر) به صورت روبرو است »»«

اگر قطر سیلندر یک‌کاره زیاد باشد، می‌تواند نیروی بسیار زیادی وارد کند که در آنصورت به آن، سیلندرRAM گفته میشود.

سیلندر دو کاره:

سیلندر دو کاره در دو جهت رفت و برگشت می تواند نیرو وارد کند. ساختار سیلندر دوکاره و نماد آن به صورت زیر است:





یکی از تفاوت‌های سیلندر یک‌کاره با سیلندر دو کاره این است: در سیلندر دو کاره، سطح مقطع در کورس رفت و برگشت با هم متفاوت است.

محاسبه‌ی نیروی تولیدی سیلندر هیدرولیکی:

نیروی تولید شده توسط سیلندر دو کاره به صورت زیر است:

$$F = P \times A$$

F نیروی سیلندر (نیوتن) P فشار سیال (پاسکال) A مساحت پیستون (متر مربع)

محاسبه‌ی سرعت سیلندر هیدرولیکی:

سرعت حرکت پیستون در حین اعمال نیرو، از رابطه‌ی زیر به دست می آید:

$$V = \frac{Q}{A}$$

V سرعت سیلندر (m/s) Q دبی ورودی سیال به سیلندر (m^3/s) A مساحت پیستون (m^2)

محاسبه‌ی حجم جابجایی سیلندر هیدرولیکی:

حجم جابجایی سیلندر، همان حجم فضای داخل سیلندر است که از رابطه‌ی زیر به دست می آید:

$$\forall = A \times S$$

$\forall$ حجم جابجایی سیلندر (m^3) S طول سیلندر (m) A مساحت پیستون (m^2)

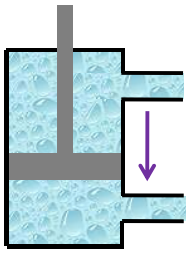
** در محاسبه‌ی نیرو، سرعت و حجم جابجایی سیلندر و پیستون، اگر نیرو، سرعت و حجم سیلندر در جهت رفت را خواسته باشیم، باید سطح مقطع پیستون در جهت رفت را در رابطه‌ی بالا بگذاریم. همچنین اگر نیرو، سرعت یا حجم سیلندر در جهت برگشت را خواسته باشیم، باید سطح مقطع پیستون در جهت برگشت را در رابطه‌ی بالا بگذاریم.

****

مثال: در سیلندر دو کاره‌ی زیر، اطلاعات زیر موجود است:

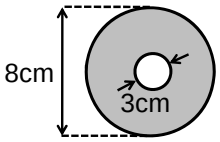
قطر داخلی سیلندر (قطر پیستون): 8cm قطر دسته‌ی پیستون: 3cm فشار سیال: 30bar

طول سیلندر (طول کورس پیستون): 80cm دبی سیال ورودی 0.05 lit/s



نیرو، سرعت و حجم جابجایی سیلندر را در جهت برگشت بیابید (جهت برگشت جهتی است که پیستون در جهت پیکان حرکت می‌کند).

پاسخ: اگر پیستون بخواهد در جهت پیکان حرکت کند، سیال باید از دریچه‌ی بالا وارد سیلندر شود (یعنی از دریچه‌ی پایین سیالی وارد سیستم نخواهد شد.). پس باید مساحت بالای پیستون را بیابیم (یعنی مساحت پیستون در جهت برگشت). نمای بالای پیستون به صورت زیر است:



پس مساحت پیستون در جهت برگشت می‌شود: $A = \pi \frac{D^2}{4} - \pi \frac{d^2}{4} = \pi \frac{(0.08)^2}{4} - \pi \frac{(0.03)^2}{4} = 4.4 \times 10^{-3} m^2$

نیروی سیلندر در جهت برگشت می‌شود: $F = P \times A = (30 \times 10^5) \times (4.4 \times 10^{-3}) = 13200\,N$

سرعت سیلندر در جهت برگشت می‌شود: $V = \frac{Q}{A} = \frac{0.05 \times 10^{-3}}{4.4 \times 10^{-3}} = 0.011 \frac{m}{s} = 1.1 \frac{cm}{s}$

حجم جابجایی سیلندر در جهت برگشت می‌شود: $\forall = A \times S = 4.4 \times 10^{-3} \times (80 \times 10^{-2}) = 3.52 \times 10^{-3} m^3$

****

۹– شیرهای هیدرولیکی

انرژی سیال هیدرولیک توسط شیرهای هیدرولیکی کنترل می‌شود. مثلاً اگر در قسمتی از سیستم، فشار سیال به دلایلی بالا رود، یک شیر، فشار را پایین می آورد. شیرها به سه دسته‌ی زیر تقسیم می شوند:

۱- شیرهای کنترل جهت جریان: این شیرها، جهت حرکت سیال را کنترل می کنند. مثلاً شیرهایی که فقط اجازه‌ی حرکت در یک جهت را به سیال می دهند (یعنی سیال نمی تواند برگشت کند).

۲- شیرهای کنترل فشار: این شیرها، برای کاهش فشار سیال استفاده می شوند. یعنی اگر فشار سیال بیش از حد بالا برود، با عملکرد خود، فشار را کاهش می دهند.

۳- شیرهای کنترل دبی جریان: این شیرها، دبی جریان را کنترل می کنند.

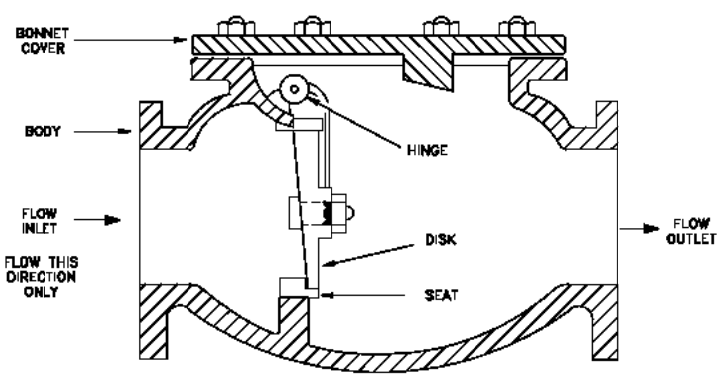
هر یک از انواع شیرهای زیر را در زیر بررسی می‌کنیم.

۹–۱– شیرهای کنترل جهت

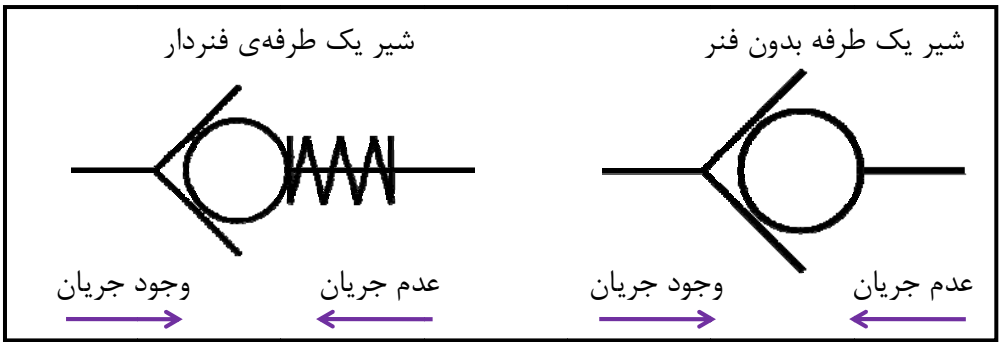
شیرهای کنترل جهت، انواع مختلفی دارند که در ادامه بررسی می‌کنیم:

شیرهای یک‌طرفه:

به سیال، اجازه‌ی حرکت در یک جهت را می دهد. ساختمان شیر یک طرفه به این صورت است:

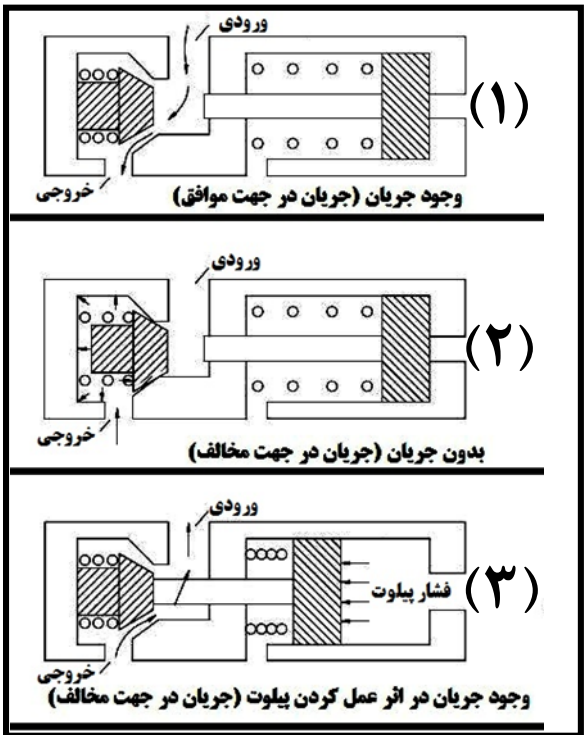


نمادهای این شیر، به صورت زیر است (در سیستم های هیدرولیک، نوع فنردار کاربرد بیشتری دارد):



شیر یک‌طرفه با بازکن هیدرولیکی:

نام دیگر این شیر «شیر یک طرفه با تحریک خط زمان» است. این شیر در یک جهت به سیال اجازه عبور می دهد و اگر یک فرمان از خطی با عنوان «خط زمان» به آن صادر شود، در جهت مخالف نیز به سیال اجازه‌ی عبور می دهد. ساختمان شیر یک طرفه با تحریک خط زمان به صورتی است که در ادامه آمده است.

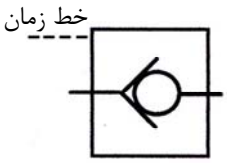


در تصویر (۱) از شکل بالا، جریان در جهت موافق وجود دارد و شیر به صورت خودکار باز می‌شود.

در تصویر (۲) از شکل بالا، جریان در جهت مخالف وجود دارد و شیر به صورت خودکار بسته می‌شود.

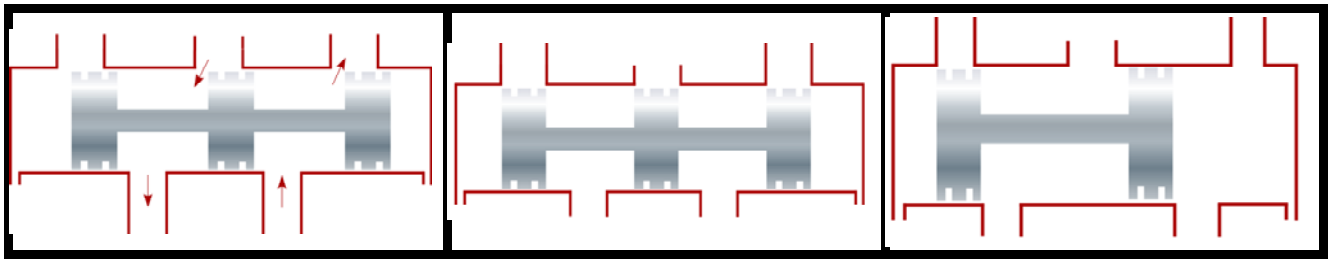
در تصویر (۳) از شکل بالا، جریان در جهت مخالف وجود دارد ولی پیستون محفظه‌ی شمت راست (پیلوت)، شیر را باز می‌کند. فشار محفظه‌ی سمت راست می‌تواند از سایر قسمت‌های مدار تأمین شود. مثلاً ممکن است محفظه‌ی سمت راست به قسمتی از مدار وصل باشد که اگر فشار آن قسمت بالا رفت، این شیر اجازه‌ی عبور جریان در جهت مخالف را نیز بدهد.

نماد شیر یک طرفه با تحریک خط زمان به صورت زیر است:



شیرهای چند راهه (راه‌دهنده):

در شیرهای معمولی، یک لوله ورودی و یک لوله خروجی قرار دارد و شیر می تواند جریان را قطع یا وصل کند. در شیرهای چند راهه، چند راه ورودی و چند راه خروجی وجود دارد. مثلاً اگر یک شیر چند راهه دارای ۲ لوله‌ی ورودی به شماره های ۱ و ۲ باشد. همچنین سه لوله‌ی خروجی به شماره های ۴، ۵ و ۶ داشته باشد. آنگاه شیر چند راهه می تواند طوری تنظیم شود که اگر جریان از لوله‌ی ۲ وارد شود، از ۵ خارج شود؛ یا اگر از ۱ وارد شود، از ۴ و ۶ خارج شود. ساختمان یک شیر چند راهه در وضعیت های مختلف در شکل های زیر نشان داده شده است:



در ادامه، نمادگذاری شیرهای راه‌دهنده را بیان می‌کنیم.

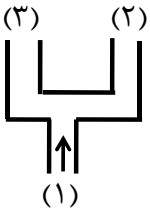
** اصل اول در نمادگذاری شیرهای راه‌دهنده: تعداد مربع ها بیان گر تعداد حالت های تغییر شیر است. مثلاً:

☐ شیر فقط یک حالت دارد مثل شیر یک طرفه.

شیر ۲ حالت دارد مثل شیرهای معمولی در لوله‌کشی منازل که یک حالت آن«باز» و حالت دیگر آن«بسته» است.

شیری که مثلاً یک لوله‌ی ورودی با شماره‌ی ۱ و دو لوله‌ی خروجی با شماره های ۲ و ۳ دارد (مطابق شکل زیر). سه حالت این شیر به این صورت می‌شود:

۱- سیال از ۱ وارد و از ۲ خارج شود. ۲- سیال از ۱ وارد و از ۳ خارج شود. ۳- جریان کاملاً قطع باشد.



اگر در همین شیر، یک حالت به این صورت باشد که جریان از ۱ وارد، و همزمان از ۲ و ۳ خارج شود، یک حالت دیگر هم به شیر اضافه می‌شود (یعنی می‌شود ۴ مربع).

** اصل دوم در نمادگذاری شیرهای راه‌دهنده: برای هر یک از حالت های شیر، در داخل مربع مربوطه، جریان هایی که در آن حالت برقرار است را مشخص می کنیم، با توجه به نکات زیر:

۱- اگر جریانی برقرار باشد، با یک پیکان (↑)، جهت جریان را مشخص می کنیم. پس هر پیکان، دو راه (دو کانال) را نشان می‌دهد (یک لوله‌ی ورودی و یک لوله‌ی خروجی).

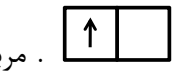
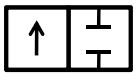
۲- اگر جریانی برقرار نباشد، با یک علامت T شکل، کانالی را که جریان آن مسدود است نشان می دهیم. پس هر نماد T، یک کانال را نشان می دهد.

در ادامه، با چند مثال، این بحث را توضیح می دهیم:

****

مثال: نماد شیر زیر را رسم کنید. شیر دو حالت «باز» و «بسته» دارد.

پاسخ: شیر دو حالت دارد پس دو مربع در کنار هم می کشیم.

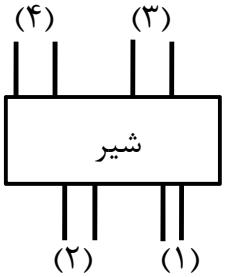
یکی از این مربع ها مربوط به حالت «باز» است. پس در داخل آن، یک پیکان به سمت بالا می کشیم که یعنی جریان از ۱ به ۲ انتقال دارد.  . مربع دیگر مربوط به حالت «بسته» است. پس در داخل آن، دو T می‌گذاریم یعنی هر دو کانال ۱ و ۲، بسته و بدون جریان است. 

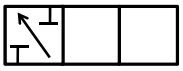
****

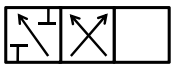
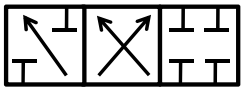
مثال: نماد شیرِ کشیده شده در تصویر زیر را رسم کنید. این شیر، حالت های زیر را دارد:

۱- جریان از ۱ وارد و از ۴ خارج شود و ۲ و ۳ نیز مسدود هستند.

۲- جریان از ۲ وارد و از ۳ خارج و همزمان از ۱ وارد و از ۴ نیز خارج شود. ۳- جریان کاملاً قطع باشد.



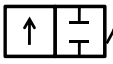
پاسخ: این شیر چهار راهه است و مطابق صورت سؤال، سه حالت دارد، پس سه مربع می‌کشیم. حالت اول (یعنی جریان از ۱ وارد و از ۴ خارج شود) به صورت روبرو می‌شود: 

با رسم حالت دوم (جریان از ۲ وارد و از ۳ خارج و همزمان از ۱ وارد و از ۴ نیز خارج شود) نماد شیر به این صورت می‌شود:  . با رسم حالت سوم (جریان کاملاً قطع باشد) نماد شیر به صورت روبرو می‌شود: 

****

شیرهای همراه با فنر:

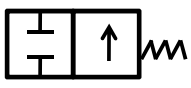
اگر در ساختمان شیر، فنر نیز وجود داشته باشد، در نماد شیر، فنر گذاشته می‌شود. نماد فنر به صورت روبرو است:

مثلاً شکل روبرو، یک شیر دو حالته را نشان می دهد که دارای فنر است:  . فنر حالت شیر را به حالت اولیه برمی‌گرداند. مثلاً به شیر آب‌سردکن‌ها دقت کنید. یعنی این شیرها دو حالت دارد: «حالت باز» و «حالت بسته». شیر آب‌سردکن در حالت عادی بسته است. اگر دکمه‌ی شیر را فشار دهید، شیر باز می‌شود. تا وقتی که دکمه‌ی شیر را فشار دهید شیر باز است و به محض این‌که دستتان را بردارید و فشار را قطع کنید، شیر خود به خود بسته می‌شود. یعنی این شیر، یک فنر دارد که شیر را به حالت اولیه برمی‌گرداند. نقش فنر، همین موردی بود که اکنون توضیح داده شد.

حالت عادی شیر:

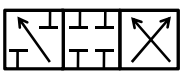
حالت عادی یا نرمال شیر، حالتی است که شیر به صورت پیش فرض در آن حالت است مگر آن که به حالت دیگری برود. مثلاً حالت عادی شیرهای آب منازل، حالت «بسته» است یعنی همیشه بسته هستند مگر این که کسی آن ها را باز کند. حالت عادی شیرهای یک طرفه، حالت «عبور جریان» است یعنی این شیرها به طور عادی جریان را عبور می دهند مگر اینکه جریانی در جهت مخالف وارد شود که در این صورت، به جریان اجازه‌ی عبور نمی دهند. در شیرهای دو حالته، حالتی که در کنار فنر نشان داده می‌شود حالت عادیِ شیر است.

****

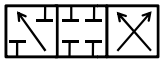
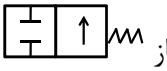
مثال: شیر روبرو، چند حالت و چند راه دارد؟ حالت عادی شیر را نیز شرح دهید. 

پاسخ: چون دو مربع وجود دارد، پس شیر دو حالت دارد. در حالت سمت چپ، دو نماد T مشاهده می‌شود، یعنی دو کانال وجود دارد که هر دو بسته است. در حالت سمت راست نیز، مشخص است که جریان از یک کانال وارد و از دیگری خارج می‌شود. پس نتیجه میگیریم که این شیر فقط دو کانال دارد یعنی شیر دو راهه است. از طرفی حالتی که نزدیک به فنر است حالت عادی شیر است. پس این شیر در حالت عادی باز است و جریان را عبور می دهد.

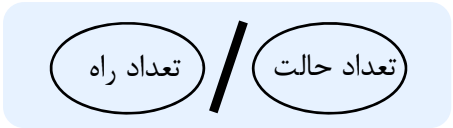
****

نکته: در شیرهای سه حالته، حالتی که در وسط قرار دارد، حالت عادی شیر است. در شکل زیر که نماد یک شیر است، حالت عادی شیر، حالتی است که جریان کاملاً قطع است (توضیح اضافی: این شیر، سه حالته و چهار راهه است). 

اگر حالت عادی شیر، به صورت باز باشد، آن را «حالت عادی باز» می گویند (Normal Open یا NO).
اگر حالت عادی شیر، به صورت بسته باشد، آن را «حالت عادی بسته» میگویند (Normal Closed یا NC).

یک نمونه شیر با حالت عادی بسته  یک نمونه شیر با حالت عادی باز 

برای هر شیر، یک «عدد» تعریف می‌شود که نشان‌دهنده‌ی تعداد حالت و تعداد راه‌های شیر است. عدد شیر به این صورت

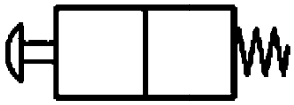
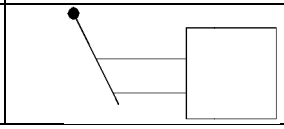
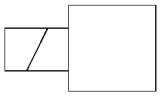


است: به دو مثال زیر توجه فرمایید:

شیر ۴/۳ یعنی شیری با ۴ راه و ۳ حالت شیر ۵/۲ یعنی شیری با ۵ راه و ۲ حالت

تحریک شیر:

تحریک شیر، یعنی آن وسیله‌ای که شیر را از یک حالت به حالت دیگر می‌برد. مثلاً در شیرهای منازل، دسته‌ای که چرخانده می‌شود، تحریک شیر است. زیرا با چرخاندن دسته می‌توان شیر را از حالت باز به حالت بسته برد. یا مثلاً در آب‌سردکن‌ها، همان دکمه‌ی شیر که حالت فنری دارد، تحریک شیر است که از نوع تحریک دکمه‌ی فشاری است. مثلاً شیر با تحریک دستی، یعنی این شیر برای اینکه بخواهد مسیر جریان را باز یا بسته کند باید با دست چرخانده شود. نوع تحریک شیر، به صورت یک نماد، در کنار نماد شیر گذاشته می‌شود. در ادامه، نماد برخی از انواع تحریک های شیر بیان می‌شود.

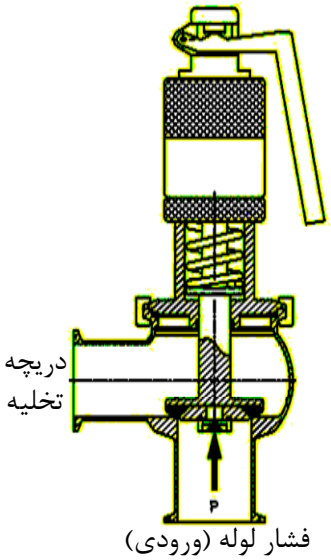
نام تحریک	نماد	نام تحریک	نماد
تحریک دکمه‌ی فشاری (همراه با فنر برگشت)		تحریک پدالی (همراه با فنر برگشت)	
تحریک اهرمی		تحریک سیم پیچ (سولونویید)	

۹-۲- شیرهای کنترل فشار

در این بخش، به شیرهای کنترل فشار پرداخته می‌شود و در ادامه انواع آن بررسی می‌گردد.

شیر اطمینان ساده:

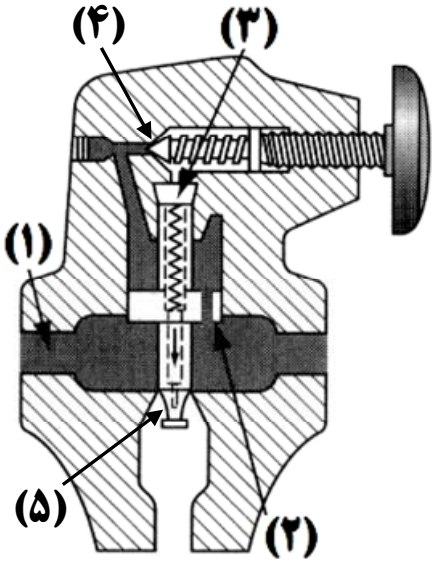
این شیر، پرکاربردترین نوع شیرهای کنترل فشار است و در شکلی که در ادامه آمده است، ساختمان آن را مشاهده می‌نمایید. اگر فشار از مقدار خاصی بالاتر برود، نیروی فشار بر نیروی فنر غلبه کرده و فنر را بالا می برد و دریچه‌ی تخلیه‌ی شیر باز می‌شود و سیال تخلیه شده و فشار ان کاهش می‌یابد.



شیر اطمینان ترکیبی:

این شیرها، همانند شیرهای اطمینان ساده ولی دو مرحله ای هستند. مراحل کار این شیر، به صورت زیر است:

- ✓ سیال پرفشار در لوله‌ی اصلی (شماره (۱) در شکل روبرو) وجود دارد.
- ✓ سیال از طریق روزنه‌ی (۲) وارد محفظه‌ی بالایی می‌شود.
- ✓ وقتی فشار سیال از حد معین بالاتر رود، فنرِ دریچه(۴) باز می‌شود و سیال به پشت فنر(۳) می رود.
- ✓ فنر (۳) فشرده شده و دریچه‌ی (۵) باز می‌شود و سیال از دریچه‌ی (۵) به بیرون تخلیه می‌شود.



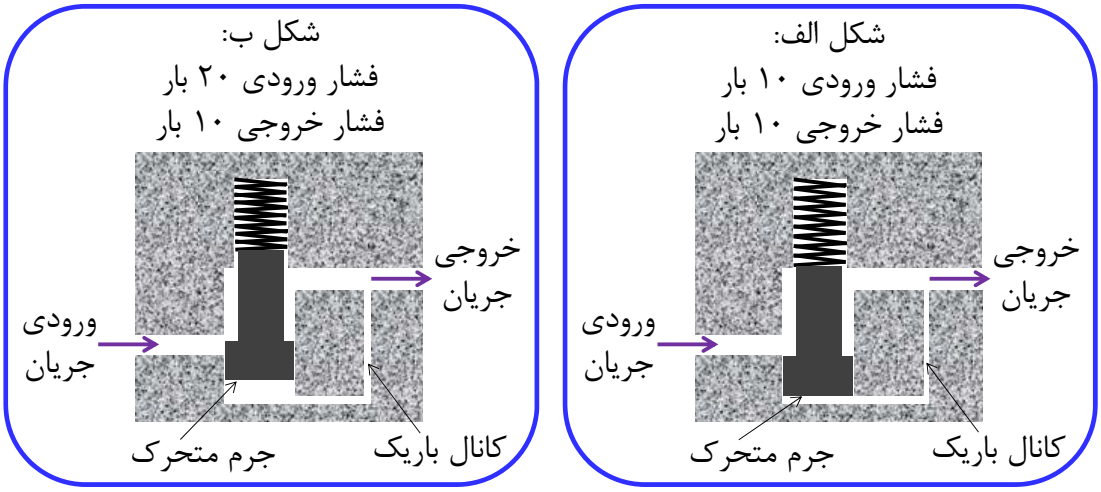
شیر تنظیم‌کننده‌ی فشار (رگولاتور فشار):

این شیر را رگولاتور فشار نیز گویند. این شیر می تواند فشار را در یک مقدار مشخص، ثابت نگه دارد. با یک مثال، نحوه‌ی کارکرد این شیر را توضیح می‌دهیم.

****

مثال (شیر تنظیم‌کننده‌ی فشار): فرض کنید، یک شیر تنظیم‌کننده‌ی فشار، فشار خروجی را در 10bar ثابت نگه می‌دارد (شکل زیر). این یعنی اگر فشار ورودی به 12bar برسد، شیر، کاری می کند که فشار خروجی 10bar شود و اگر فشار ورودی 20bar شود، شیر کاری می کند که فشار خروجی به 10bar برسد. پس هر گاه فشار ورودی زیاد شود، فشار خروجی تغییر نخواهد کرد. وقتی فشار ورودی مثلاً ۲۰ بار می‌شود، در لحظه اول، فشار خروجی نیز ۲۰ بار می‌شود. فشار

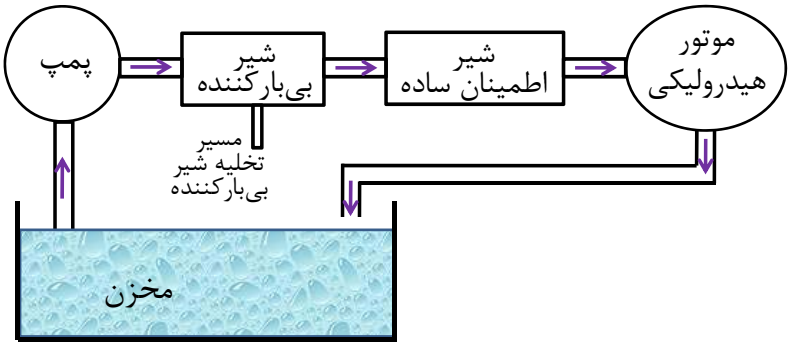
۲۰ بار، از مسیر کانال باریک، به زیر جرم متحرک منتقل شده و آن را بالا میبرد. با بالا رفتن جرم، مسیر کانال ورودی مقداری بسته شده و یک افت فشار ایجاد می‌شود. افت فشار ایجاد شده به اندازه ای است که فشار خروجی همان ۱۰ بار خواهد شد. لذا با افزایش فشار ورودی، فشار خروجی تغییر نخواهد کرد.



****

شیر بی‌بارکننده:

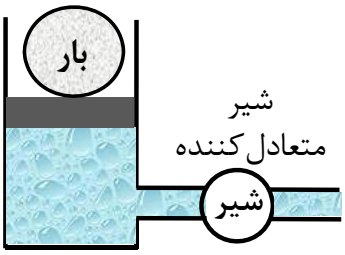
برخی اوقات سیستم هیدرولیک زیر بار نیست (مثلاً می خواهیم به مدت چند دقیقه، سیستم را خاموش کنیم). در این مواقع طبیعتاً نیاز به تولید هیچ فشاری نیست. معمولاً در این لحظات پمپ خاموش نمی‌شود. لذا در این هنگام، شیر بی بار کننده، جریان پمپ را (که هیچ فشاری ندارد) به مخزن تخلیه می کند. اگر شیر بی بار کننده، این کار را انجام ندهد، جریان در پشت شیرهای اطمینان گیر کرده و فشار بالا می رود و در نهایت، شیر اطمینان عمل کرده و سیال را تخلیه می کند که این روش کاملاً نادرست است. موقعیت یک سیستم هیدرولیک دارای شیر بی بار کننده در شکل زیر نشان داده شده است:



در خاموشی موقت سیستم (یا مواقع ضروریِ دیگر)، پمپ فعال خواهد بود و شیر بی بار کننده، سیال را به مخزن تخلیه می کند.

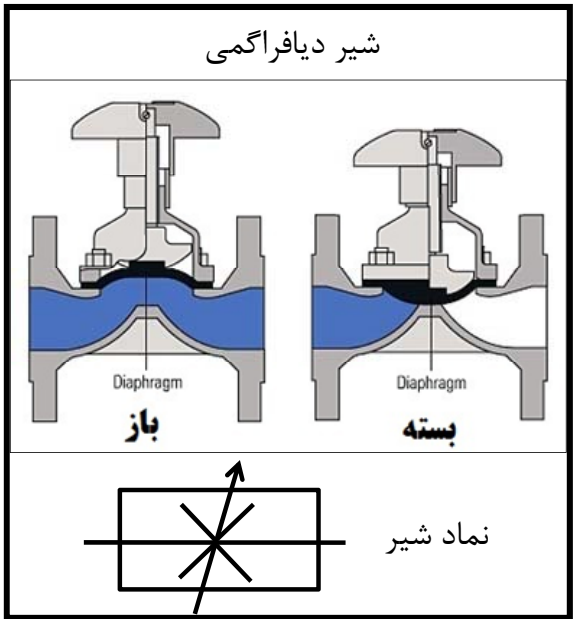
شیر متعادل‌کننده (Counter Balance):

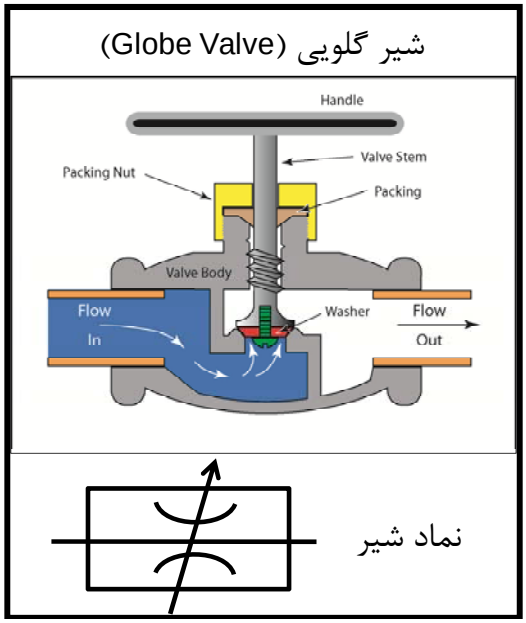
این شیر، مقاومت مشخصی در مقابل عبور جریان در یک جهت ایجاد می کند؛ و در جهت دیگر، اجازه عبور آزاد را می دهد. کاربرد این شیر برای سیلندرهای هیدرولیکی است. در سیلندرهایی که مثلاً برای برداشتن وزنه استفاده می‌شود، وزنه در اثر فشار سیال بالا می‌رود، اما پایین آوردن وزنه بدون صرف نیرو و توسط نیروی جاذبه انجام می‌شود. حال اگر شیر متعادل‌کننده نباشد، وزنه به سرعت پایین آمده و شتاب میگیرد (شکل زیر). یعنی در شکل زیر، وقتی وزنه تحت نیروی جاذبه پایین می‌آید، سیال را به بیرون از سیلندر می‌فرستد. حال شیر بی‌بارکننده در همان جهت یک مقاومت در برابر سیال ایجاد می‌کند، لذا وزنه آهسته‌تر به پایین حرکت می‌کند.



۹-۳- شیرهای کنترل دبی جریان

این شیرها به منظور کنترل دبی استفاده می شوند. معمولاً قبل از هر سیلندر و هر موتور هیدرولیکی، یک شیر تنظیم دبی قرار می دهند. با تنظیم دبی می توان سرعت سیلندر یا موتور هیدرولیکی را تنظیم نمود. دو ساختمان کلی شیرهای کنترل دبی به صورت زیر است:





شیر کنترل جریان مجهز به سیستم جبران کننده‌ی فشار:

در شیرهای کنترل جریان معمولی، اگر میزان جریان، کم یا زیاد شود، افت فشار ایجاد شده در داخل خود شیر نیز تغییر می کند. شیرهای کنترل جریان مجهز به سیستم جبران کننده‌ی فشار، طوری طراحی می شوند که می توانند افت فشار داخل شیر را در مقدار ثابتی نگه دارند. در این شیرها می توان دبی را به صورت دقیق تر تنظیم نمود.

۱۰- انباره‌ها

انباره یک مخزن است که سیال پر فشار را درون خود ذخیره می‌کند و در مواقع نیاز آن را وارد سیستم هیدرولیک می‌کند. می‌توان گفت انباره یک جایگزین برای پمپ است. مثلاً اگر برق قطع شود و پمپ خاموش شود، انباره می‌تواند برای چند لحظه، فشار سیستم را تأمین کند یا حداقل از قطع ناگهانی جریان سیال جلوگیری کند. شکل زیر، یک انباره است:

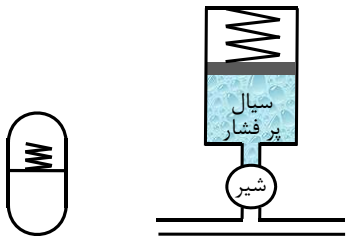
در شکل بالا، نیروی جاذبه‌ی وزنه، انرژی پتانسیل بالایی را به سیال می دهد و اگر شیر باز شود، سیال با فشار زیاد به داخل سیستم تزریق می‌شود. در ادامه انواع انباره معرفی می گردد.

انباره‌ی وزنی:

در انباره‌ی وزنی، انرژی سیال از طریق نیروی جاذبه‌ی یک وزنه‌ی سنگین تأمین می‌شود. شکلی که در بالا کشیده شده است، یک انباره‌ی وزنی است. مزیت انباره‌ی وزنی این است که تمام سیالِ داخل انباره، با یک فشار ثابت، می تواند به سیستم تزریق شود. معایب انباره‌ی وزنی، ابعاد بزرگ و وزن سنگین آن است. نماد انباره‌ی وزنی به صورت زیر است.

انباره‌ی فنری:

در انباره‌ی فنری، انرژی سیال از طریق نیروی فنر تأمین می‌شود. مزیت انباره‌ی فنری وزن و اندازه‌ی کمِ آن است. معایب انباره‌ی فنری عبارتند از: ۱- تمام سیال تزریق شده به سیستم، فشار یکسان ندارد (یعنی سیالی که ابتدا از انباره خارج می‌شود، فشار زیاد و سیالی که در انتها از انباره خارج می‌شود فشار کم‌تری دارد). ۲- کاهش خاصیت ارتجاعی فنر در سیکل های کاری زیاد.



انباره‌ی گازی یا هیدروپنوماتیک:

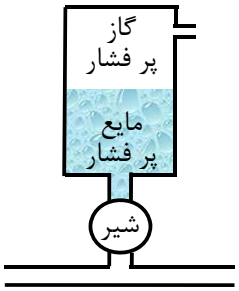
در انباره‌ی گازی، انرژی سیال از طریق گازی با فشار بالا تأمین می‌شود. انباره‌های گازی به دو دسته‌ی زیر تقسیم می شوند:

۱- انباره‌ی گازی جدا نشده. ۲- انباره‌ی گازی جدا شده.

نماد انباره‌ی گازی به صورت روبرو است:

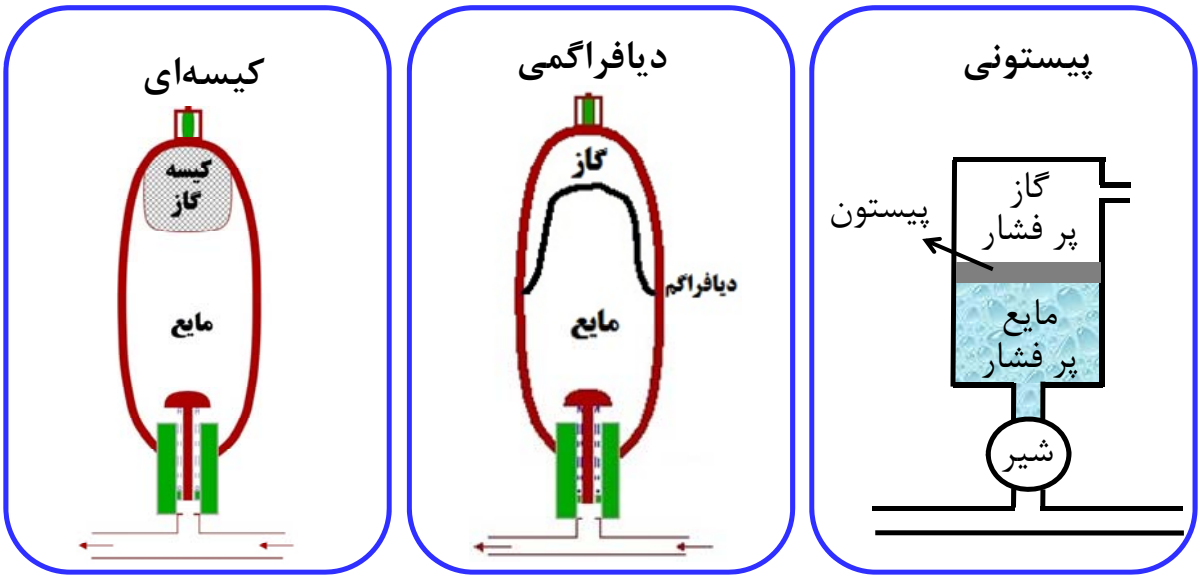
انباره‌ی گازی جدا نشده:

در این انباره، گاز به طور مستقیم با مایع در تماس است (شکل زیر). مزیت انباره‌ی گازی جدا نشده، پذیرش حجم زیادی از روغن است. اِشکال انباره‌ی گازی جدا نشده مخلوط شدن گاز با مایع است.



انباره‌ی گازی جدا شده:

در این انباره، گاز و مایع توسط یک جداکننده از هم جدا می شوند و به سه نوع زیر تقسیم می‌شود:



حال که با انباره آشنا شدیم، تعدادی از کاربردهای انباره را معرفی می‌کنیم:

۱- منبع قدرت مکمل در زمان های اوج مصرف: در این حالت، وقتی که سیستم هیدرولیک بار کمی دارد، پمپ علاوه بر تأمین فشار سیستم، انباره را نیز شارژ می کند. حال در زمان نیاز سیستم به جریان بالا، انباره انرژی خود را به سیستم می دهد.

۲- منبع قدرت اضطراری: هنگامی که به دلایلی ناگهان پمپ از کار بیفتد (قطع برق، خرابی ناگهانی پمپ و . . .)، انباره می تواند تا لحظاتی، سیستم را فعال نگه دارد.

۳- خنثی کردن ضربان های پمپ: جریان تولیدی در اکثر پمپ ها حالت ضربانی دارد. برای رفع این مشکل، می توان بعد از پمپ، یک انباره قرار داد تا جریان پس از انباره وارد سیستم شود.

۱۱- علائم ترسیمی اجزای مختلف هیدرولیکی و پنوماتیکی

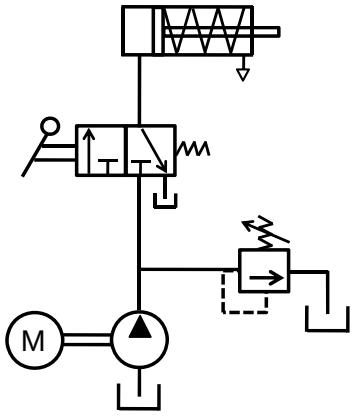
هر یک از اجزای هیدرولیکی، یک نماد مخصوص به خود دارند. این نمادها به منظور رسم مدارهای هیدرولیکی به کار می‌روند. همان‌طور که اطلاع دارید، در رشته‌ی مهندسی برق، اجزای مختلف مدارهای الکتریکی (مانند مقاومت، خازن، سلف و . . .) با نمادهایی مشخص شده و در نهایت، یک مدار الکتریکی، با مجموعه‌ای از نمادها بر روی کاغذ رسم شده و تحلیل می‌شود. در سیستم‌های هیدرولیکی نیز دقیقاً همین روند برقرار است. یعنی هر یک از اجزای سیستم‌های هیدرولیک توسطط یک نماد مشخص شده و کل سیستم هیدرولیک، توسط یک مدار نمایش داده می‌شود و می‌توان به راحتی آن را تحلیل نمود. نماد اجزای مختلف سیستم های هیدرولیکی و پنوماتیکی، در ضمیمه‌ی این جزوه قرار داده شده است. در صورت نیاز، می توانید نمادهای بیشتری را با جستجو در اینترنت و یا سایر منابع علمی، بیابید.

۱۲- مدارهای هیدرولیکی

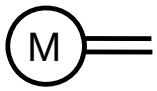
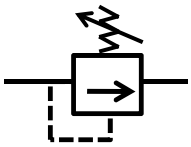
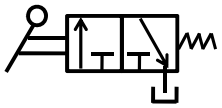
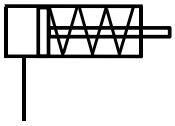
مدار هیدرولیکی نقشه ای است که روی آن، اجزای مختلف سیستم هیدرولیک با نمادهای آن ها نشان داده شده است (همانند مدار الکتریکی). مزیت مدار هیدرولیکی آن است که با نگاه به نقشه و تحلیل آن، می توان به جزئیات عملکرد سیستم پی برد. در ادامه، تعدادی مدار هیدرولیکی به همراه تحلیل مدار بیان می گردد.

****

مثال ۱ (مدار هیدرولیکی سیلندر یک کاره): مدار زیر را تحلیل نمایید (حالت‌های مختلف کار مدار را توضیح دهید).



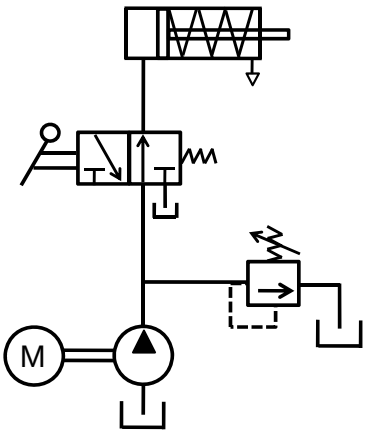
پاسخ: ابتدا هر یک از علائم روی مدار را توضیح می‌دهیم. اجزای مدار، در جدول زیر بیان شده‌اند:

نماد جزء	معرفی جزء	نماد جزء	معرفی جزء
	مخزن (خط بالای مخزن نشان‌دهنده‌ی مسیر ورود سیال است)		پمپ هیدرولیکی
	موتور الکتریکی که پمپ را می چرخاند.		شیر کنترل فشار (شیر اطمینان) که در یک فشار خاص و بالا باز می شود.
	شیر ۳/۲ که ۳ راه و ۲ حالت دارد.		سیلندر یک کاره‌ی هیدرولیکی که برگشت آن با فنر است.

برای تحلیل مدار، ابتدا از محل پمپ شروع می کنیم. پمپ توسط یک موتور الکتریکی حرکت داده می شود. پمپ سیال را از مخزن گرفته و فشار آن را زیاد می کند. بعد از پمپ، یک شیر کنترل فشار (شیر اطمینان) قرار دارد تا اگر پمپ، فشار سیال را بیش از حد بالا برد، این شیر باز شده و فشار را کاهش دهد. اگر شیر کنترل فشار باز شود، سیال به مخزن تخلیه می شود. سیال بعد از پمپ، به شیر راه‌دهنده‌ی ۳/۲ می رسد. از آن‌جا که شیر ۳/۲، دو حالت دارد، پس بسته به این‌که شیر، در کدام حالت باید، نوع عملکرد مدار متفاوت خواهد بود. پس اکنون دو حالت را بررسی می‌کنیم.

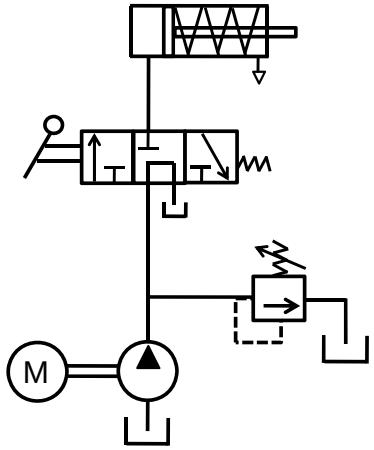
حالت اول: همان حالت عادی شیر ۳/۲ است که در شکل کشیده شده در صورت سؤال نیز مشاهده می‌شود. در این حالت لوله‌ای که از پمپ به شیر ۳/۲ وصل می شود، بسته است پس جریانی وارد سیلندر نمی‌شود. از طرفی، لوله‌ای که از سیلندر به شیر وصل می شود نیز توسط شیر ۳/۲، به مخزن متصل شده است. لذا اگر سیالی از قبل، در سیلندر باقی مانده باشد، تخلیه می شود.

حالت دوم: حالتی است که اهرمِ شیر ۳/۲، شیر را به وضعیت شکل زیر ببرد. در این حالت، سیال پر فشار از شیر عبور کرده و وارد سیلندر شده و تولید نیرو می کند.



****

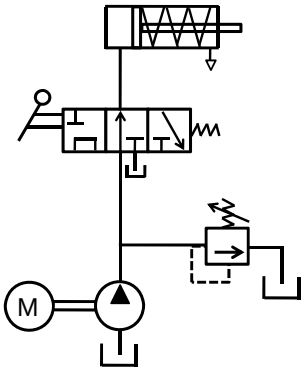
مثال ۲ (مدار هیدرولیکی سیلندر یک‌کاره): مدار زیر را تحلیل نمایید (حالت‌های مختلف کار مدار را توضیح دهید).



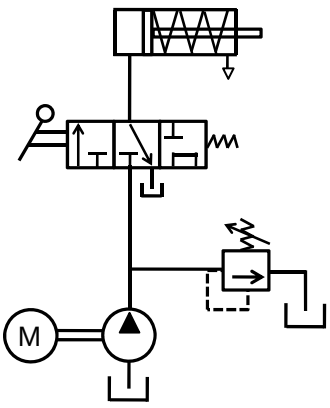
پاسخ: مدار روبرو همانند مثال قبل می باشد منتها شیر راه دهنده در اینجا از نوع ۳/۳ است. در این مدار سه حالت وجود دارد که در ادامه توضیح می دهیم.

حالت اول: همان حالت عادی شیر ۳/۳ است یعنی همان حالتی که در شکل بالا نشان داده شده است. در این حالت، شیر ۳/۳ بسته بوده و اجازه‌ی ورود سیال پر فشار به سیلندر را نمی‌دهد. در این حالت، شیر ۳/۳، سیال پر فشار را مستقیماً به مخزن تخلیه می‌کند.

حالت دوم: حالتی است که شیر ۳/۳ در وضعیت شکل زیر باشد (یعنی شیر ۳/۳ در حالت باز باشد). در این حالت، سیال پرفشار از طریق شیر وارد سیلندر شده و ایجاد نیرو می کند.

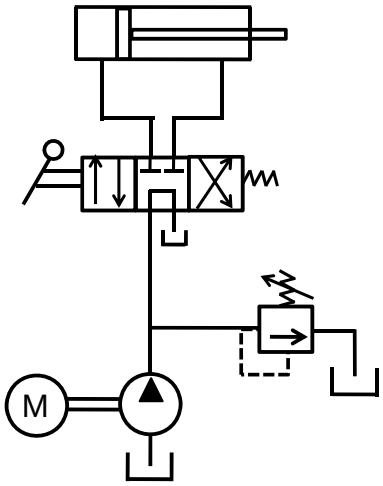


حالت سوم: حالتی است که شیر ۳/۳ در وضعیت شکل زیر باشد. در این حالت، امکان ورود سیال به سیلندر وجود ندارد. در این حالت، فنرِ سیلندر، پیستون را برگشت داده و سیال باقی‌مانده در سیلندر، از طریق شیر ۳/۳ به مخزن تخلیه می‌شود.



****

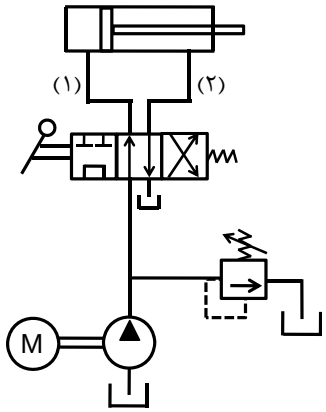
مثال ۳ (مدار هیدرولیکی سیلندر دوکاره): مدار زیر را تحلیل نمایید (حالت‌های مختلف کار مدار را توضیح دهید).



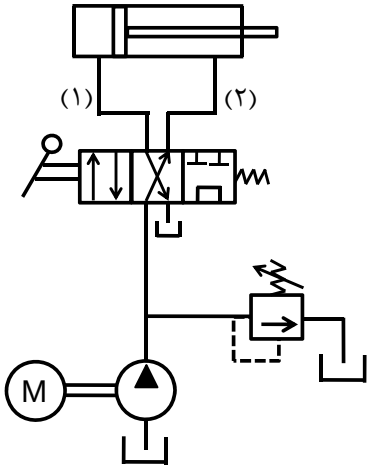
پاسخ: یادآوری: سیلندر دو کاره، می تواند در دو جهت نیرو وارد کند. شیر راه دهنده در مدار روبرو از نوع ۴/۳ است. این مدار، سه حالت دارد که در ادامه توضیح می دهیم:

حالت اول: همان حالت عادی شیر ۴/۳ است؛ یعنی همان حالتی که در شکل بالا دیده می‌شود. در این حالت، شیر ۴/۳ بسته است و اجازه‌ی عبور جریان را نمی دهد. در این وضعیت، جریان خروجی از پمپ به مخزن تخلیه می شود.

حالت دوم: حالتی است که توسط اهرم، شیر ۴/۳ را در وضعیت شکل زیر قرار دهیم. در این حالت، جریانِ پر فشار از شاخه‌ی (۱) وارد سیلندر شده و پیستون را به سمت راست حرکت می دهد. در این حالت، باقی‌مانده‌های سیال که در نیمه‌ی سمت راست سیلندر قرار دارند، از طریق شاخه‌ی (۲) به مخزن تخلیه می‌شوند.

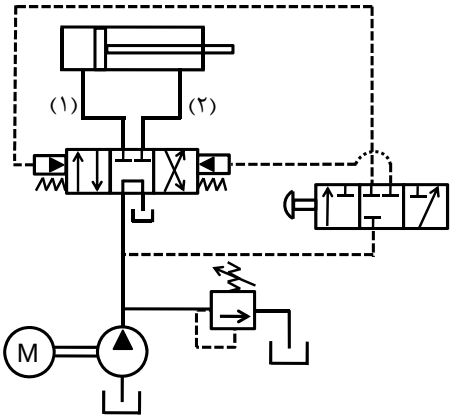


حالت سوم: حالتی است که توسط اهرم، شیر ۴/۳ را در وضعیت شکل زیر قرار دهیم. در این حالت، جریان پر فشار از شاخه‌ی (۲) وارد سیلندر شده و پیستون را به سمت چپ حرکت می دهد. در این حالت، باقی‌مانده‌های سیال که در نیمه‌ی سمت چپ سیلندر قرار دارند، از طریق شاخه‌ی (۱) به مخزن تخلیه می‌شوند.



****

مثال ۴ (مدار دستگاه پرس هیدرولیکی): مدار زیر را تحلیل نمایید (حالت‌های مختلف کار مدار را توضیح دهید).



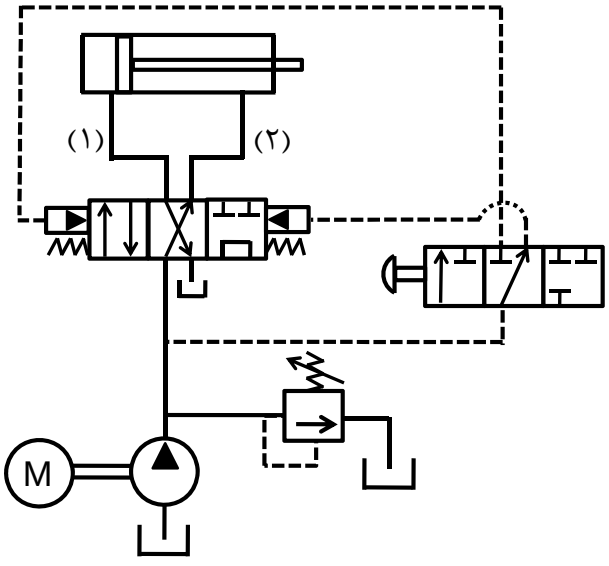
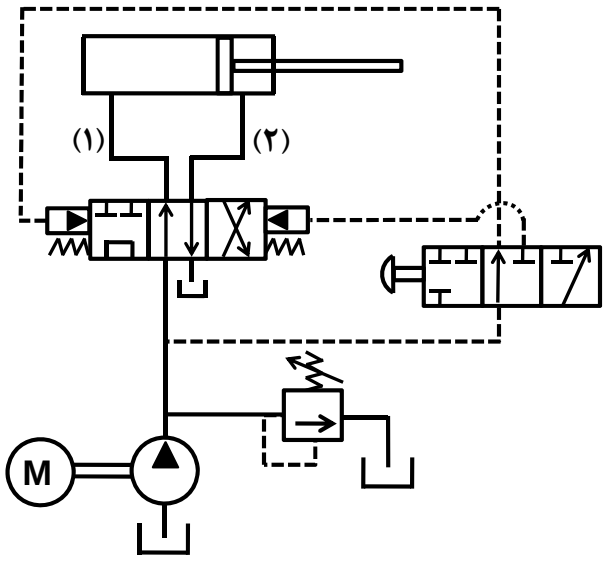
پاسخ: در مدار روبرو، یک شیر ۴/۳ در مدار وجود دارد. یک شیر ۳/۳ نیز هست که این شیر، یک دکمه ی فشاری دارد. روند دستگاه این است: کاربرِ دستگاه پرس، دکمه ی شیر ۳/۳ را می زند و در نهایت، سیلندر حرکت کرده و نیرویی ایجاد می‌کند و عمل پرس را انجام می‌دهد که در ادامه توضیح داده می‌شود. مدار روبرو سه حالت دارد که در ادامه به آن اشاره می‌کنیم.

حالت اول: حالت عادی سیستم که شیر ۳/۳ و ۴/۳ بسته هستند، یعنی همان حالتی که در شکل بالا مشاهده می‌شود. در این حالت، سیستم هیچ عملی انجام نمی‌دهد.

تذکر مهم: در شکل روبرو، خط‌چین‌ها، لوله‌هایی هستند که سیال در آن‌ها ساکن است. این سیالِ ساکن، توانایی انتقال فشارِ سیال را دارد (چون این لوله‌ها قرار نیست سیالی را انتقال دهند، با خط‌چین نشان داده می‌شوند).

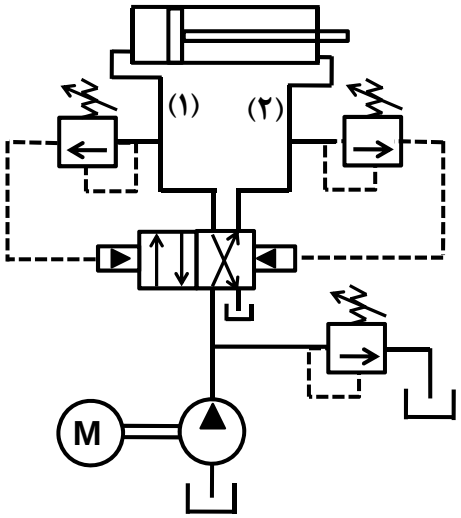
حالت دوم: حالتی است که کاربرِ دستگاه پرس، شیر۳/۳ را به وضعیتی که در جدول بعد نشان داده شده، ببرد. در این‌حالت، فشارِ بعد از پمپ، به تحریک‌کننده‌ی سمت راستِ شیر۴/۳ منتقل شده و این تحریک‌کننده، حالتی از شیر۴/۳ که روبروی خود قرار دارد را فعال می‌کند که در شکل نیز مشاهده می شود. اکنون، سیال از طریق شیر ۴/۳ وارد شاخه‌ی (۲) شده و پیستون به سمت چپ می رود (الآن پیستون آماده است و با حرکت به سمت راست، عمل پرس را انجام می دهد؛ اما هنوز عمل پرس شروع نشده است).

حالت سوم: حالتی است که کاربرِ دستگاه پرس، شیر ۳/۳ را به وضعیتی که در جدول بعد نشان داده شده است ببرد. در این حالت، فشارِ بعد از پمپ، به تحریک کننده ی سمت چپِ شیر ۴/۳ منتقل شده و این تحریک کننده، حالتی از شیر ۴/۳ که در روبروی خود قرار دارد را فعال می کند که در شکل نیز مشاهده می شود. اکنون، سیال از طریق شیر ۴/۳ وارد شاخه‌ی (۱) شده و پیستون به سمت راست رفته و عمل پرس را انجام می دهد.

مدار در حالت دوم	مدار در حالت سوم
	

****

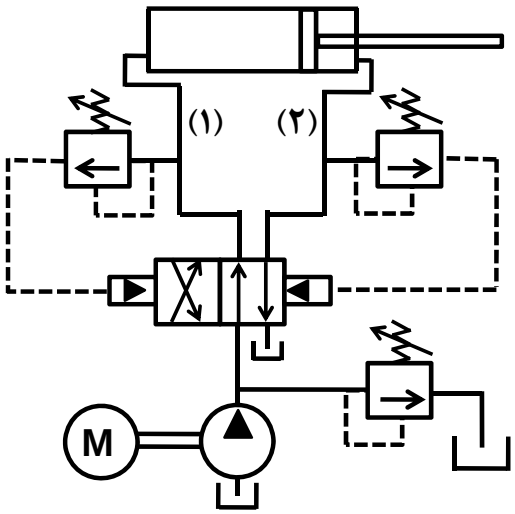
مثال ۵ (مدار حرکت رفت و برگشتی خودکار سیلندر): مدار زیر را تحلیل نمایید (حالت‌های مختلف کار مدار را توضیح دهید).



پاسخ: مدار روبرو، دو حالت دارد که در ادامه، بررسی می کنیم.

حالت اول: حالتی است که شیر ۴/۲ در وضعیتی که در شکل بالا نشان داده شده است قرار دارد. در این حالت، جریانِ پرفشار از شاخه ی (۲) وارد سیلندر می شود و پیستون را به سمت چپ می برد. وقتی پیستون به انتهای سمت چپ سیلندر رسید، چون پیستون، دیگر حرکتی ندارد، فشار در شاخه ی (۲) زیاد شده و شیر اطمینان متصل به شاخه ی (۲) باز می‌شود. با باز شدن شیر، فشارِ بالای شاخه ی (۲) به تحریک کننده ی موجود در سمت راست شیر ۴/۲ رسیده و این تحریک‌کننده، شیر ۴/۲ را به وضعیت دیگر می برد. وضعیت جدید شیر، همان حالت دوم مدار است که در ادامه توضیح داده می‌شود.

حالت دوم: حالتی است که شیر ۴/۲ در وضعیت شکل زیر قرار دارد. در این حالت، جریان پر فشار از شاخه‌ی (۱) وارد سیلندر شده و پیستون را به سمت راست می برد. وقتی پیستون به انتهای سمت راست سیلندر رسید، چون پیستون، دیگر حرکتی ندارد، فشار در شاخه ی (۱) زیاد شده و شیر اطمینان متصل به شاخه ی (۱) باز شده و فشارِ این شاخه به تحریک کننده ی موجود در سمت چپ شیر ۴/۲ رسیده و این تحریک‌کننده، شیر ۴/۲ را به وضعیت دیگر می‌برد. وضعیت جدید شیر، همان حالت اول مدار است که در بالا توضیح داده شد. این روند به همین صورت ادامه یافته و پیستون به طور خودکار در رفت و برگشت خواهد بود.



****

۱۳- اصول عیب‌یابی سیستم‌های هیدرولیکی

سیستم هیدرولیکی در هنگام کار، ممکن است با اشکالاتی مواجه شود. جدولی با عنوان «اصول عیب‌یابی سیستم‌های هیدرولیکی» در ضمیمه‌ی این جزوه قرار داده شده است که به کمک آن می‌توان سرنخ‌هایی برای شناسایی عیب سیستم هیدرولیک پیدا نمود.

۱۴- معرفی پنوماتیک

واژه‌ی پنوماتیک از کلمه‌ی یونانی «پنیوما» به معنی «تنفّس» آمده است. پنوماتیک، دانش تولید، کنترل و به کارگیری هوای فشرده است. اولین بار، یک فرد یونانی در ۲۰۰۰ سال قبل، از هوای فشرده استفاده کرد. شروع کاربرد پنوماتیک در صنایع، تقریباً از سال ۱۹۵۰ میلادی بوده است. در سیستم پنوماتیک، از هوا (یا سایر گازها) به عنوان انتقال انرژی استفاده می شود. پنوماتیک را «نیوماتیک» نیز تلفظ می کنند.

مزایای هوای فشرده عبارت است از:

۱- هوا، همیشه و در همه جا به مقدار کافی وجود دارد.
۲- انتقال هوا به راه های دور، نیاز به انرژی زیادی ندارد.
۳- هوا را می توان در مخازن و کپسول ها انبار نمود.
۴- نوسانات دما تأثیر زیادی بر روی هوای فشرده ندارد.
۵- قطعات پنوماتیکی معمولاً قیمت کمی دارند.
۶- هوای فشرده، باعث انفجار و آتش سوزی نمی شود.

معایب هوای فشرده عبارت است از:

۱- هوای فشرده نیاز به آماده سازی دارد.
۲- استفاده از هوای فشرده در محدوده‌ی فشار کاری 7bar مناسب است.
۳- هوایی که از سیستم های پنوماتیکی تخلیه می شود، دارای صدای زیادی است.
۴- فشرده سازی هوا پر هزینه است (البته قیمت تجهیزاتِ آن بالا نیست).
۵- به علت تراکم پذیری هوا، نمی توان سرعت یکنواختی در سیلندرهای پنوماتیکی ایجاد کرد.

برخی از صنایعی که پنوماتیک در ان‌ها کاربرد دارد، عبارتند از:

صنایع بسته بندی — صنعت اسباب بازی — صنعت آبکاری
صنایع خودرو — صنایع چاپ — صنعت نساجی — مواد غذایی

برخی از تفاوت های سیستم های هیدرولیک و پنوماتیک در جدول زیر ذکر شده است:

مورد مقایسه	سیستم هیدرولیک	سیستم پنوماتیک
سیال مورد استفاده	مایع	گاز
میزان قدرت تولیدی سیستم	زیاد	کم و متوسط
میزان دقت حرکت	بسیار دقیق (توانایی حرکت آهسته و دقیق)	دقت متوسط (به دلیل خاصیت تراکم‌پذیری هوا)
سرعت عکس‌العمل در برابر فرمان‌ها	کم	زیاد

هوای تمیز و خشک دارای اجزای زیر است:

۷۸ درصد نیتروژن — ۲۱ درصد اکسیژن — ۱ درصد گازهای دیگر

همیشه میزانی رطوبت نیز در هوا وجود دارد که در مناطق مختلف کره‌ی زمین، مقدار رطوبت متفاوت است.

رابطه‌ی زیر برای گازها برقرار است (معادله‌ی گاز ایده آل):

$$PV = n\overline{R}T$$

P فشار گاز (پاسکال)　　V حجم گاز (متر مکعب)　　T دمای گاز (کلوین)

N تعداد مول های گاز　　$\overline{R} = 8.314$ ثابت عمومی گازها

یعنی همیشه بین فشار، دما و حجم یک گاز، رابطه‌ی بالا برقرار است.

رابطه‌ی فوق، به صورت روبرو هم نوشته می شود:

$$P = \rho RT$$

در رابطه‌ی بالا، ρ چگالی سیال (کیلوگرم بر متر مکعب) و R ثابت گاز است (یعنی برای هر گاز عدد مختلفی دارد) و از رابطه‌ی زیر به دست می آید:

$$R = \overline{R}/M$$

که M، جرم مولکولی آن گاز است.

۱۵- آماده‌سازی هوای فشرده

هوا دارای رطوبت و مواد ناخالص است که باید آنها را حذف نمود، سپس هوا را در سیستم پنوماتیک استفاده نمود. کمیت های زیر را تعریف می کنیم:

رطوبت مطلق: مقدار بخار آب موجود در یک متر مکعب هوا.

رطوبت اشباع: حداکثر مقدار بخار آب که در یک متر مکعب هوا می تواند وجود داشته باشد.

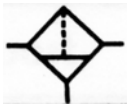
$$\text{رطوبت نسبی} = \frac{\text{رطوبت مطلق}}{\text{رطوبت اشباع}} \times ۱۰۰$$

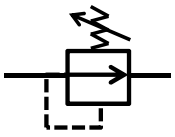
اگر رطوبت نسبی هوا به ۱۰۰ برسد، شبنم ایجاد می شود.

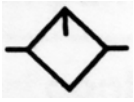
هوا قبل از ورود به سیستم پنوماتیک باید خشک شود یعنی بخار آب موجود در هوا، تخلیه شود. روش های خشک کردن هوا عبارتند از:

- ✓ **روش شیمیایی:** در این روش، هوا از روی مواد شیمیایی عبور داده می شود و این مواد، رطوبت هوا را جذب می کنند. پس از مدتی، کارایی مواد شیمیایی کم شده و باید آنها را تعویض نمود. این مواد، هیدروکسید پتاسیم، هیدروکسید سدیم و . . . می باشد.
- ✓ **روش سرد کردن:** در این روش، دمای هوا را کاهش می دهند. با کاهش دما، بخار آب موجود در هوا، تقطیر شده و هوا خشک می شود.

هوا پس از خشک شدن، وارد بخشی به نام «واحد مراقبت» می شود تا بیشتر آماده سازی شود. اجزای تشکیل دهنده‌ی واحد مراقبت به همراه نماد مربوطه به صورت زیر است:

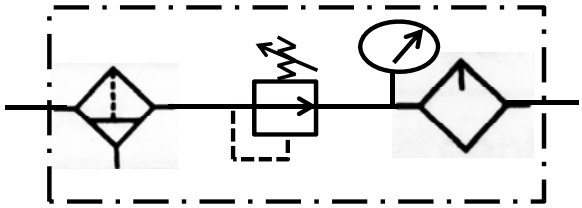

فیلتر به همراه آب گیرنده


تنظیم کننده‌ی فشار هوا (رگولاتور فشار)

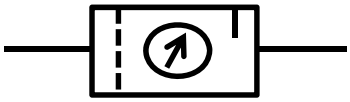

روغن پاش

فشارسنج

نماد واحد مراقبت به صورت زیر است:



نماد غیر استاندارد واحد مراقبت به صورت زیر است که برخی اوقات جهت خلاصه‌سازی از این نماد استفاده می‌شود:



هر یک از اجزای واحد مراقبت، در ادامه توضیح داده می شود.

فیلتر »»» ناخالصی های موجود در هوا و بخشی از رطوبت را جدا می کند.

رگولاتور فشار »»» فشار را ثابت نگه می‌دارد (همانند رگولاتور فشار در مبحث هیدرولیک که اگر فشار از یک حد مشخص بالاتر رود، آن را به همان حد مشخص برمی‌گرداند).

فشارسنج »»» فشار سیستم را نشان می دهد.

روغن پاش »»» مقداری روغن به درون هوا تزریق می کند که باعث روانکاری تجهیزات و جلوگیری از زنگ زدگی آنها شود.

هر چه اندازه‌ی واحد مراقبت بزرگتر باشد، دبی بیشتری از هوا را می تواند آماده سازی کند.

۱۶– کمپرسور

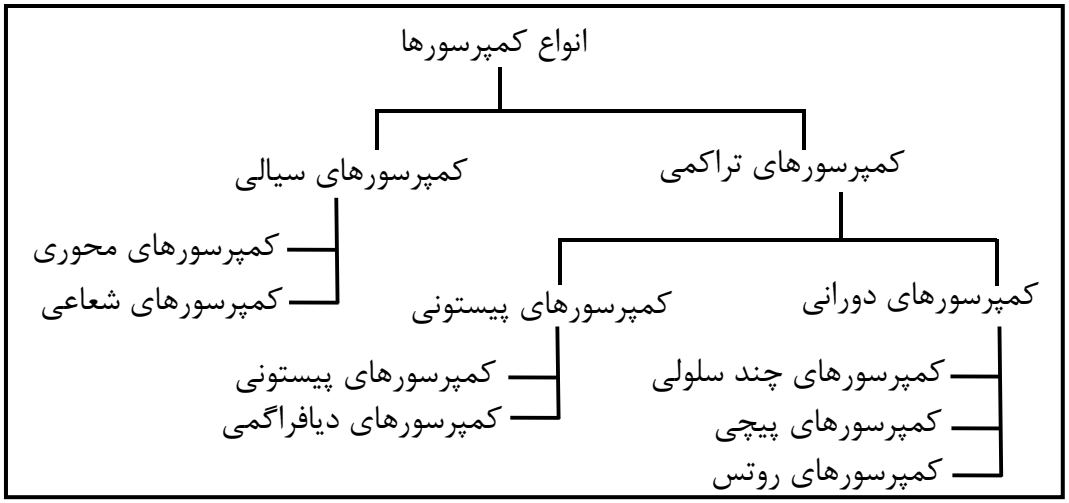
کمپرسور، فشار هوا را زیاد می کند. نماد کمپرسور به صورت زیر است

محور کمپرسور، به یک موتور وصل شده و توسط آن موتور چرخانده می شود (همانند پمپ‌های هیدرولیکی که در مباحث پیشین گفتیم که توسط یک منبع خارجی حرکت داده می‌شود).

کمپرسورها از نظر اصول کار، به دو نوع کلی زیر تقسیم می شوند:

- ✓ **کمپرسورهای تراکمی:** در این کمپرسورها، هوا در فضایی حبس شده و آن فضا کوچک گردیده و فشار هوا بالا می رود.
- ✓ **کمپرسورهای سیالی:** در این کمپرسورها، هوا از یک طرف مکیده شده و به وسیله‌ی تیغه های چرخان، به آن شتاب داده شده و فشار آن بالا می رود (مثل ساختار پمپهای هیدرولیکی).

در شکل زیر، انواع کمپرسورها آمده است.



هر یک از این کمپرسورها در ادامه توضیح داده می شود.

کمپرسور پیستونی:

این کمپرسور محدوده‌ی فشار وسیعی را می تواند تولید کند (از 1bar تا چند هزار bar). این کمپرسور، پرکاربردترین نوع کمپرسور است. برای رسیدن به فشارهای بالا، از کمپرسورهای پیستونی چند مرحله ای استفاده میشود یعنی چند کمپرسور پیستونی به صورت متوالی استفاده می‌شوند.

کمپرسور پیستونی از یک سیلندر و پیستون تشکیل شده و مراحل کار آن، به این صورت است (مطابق شکل):

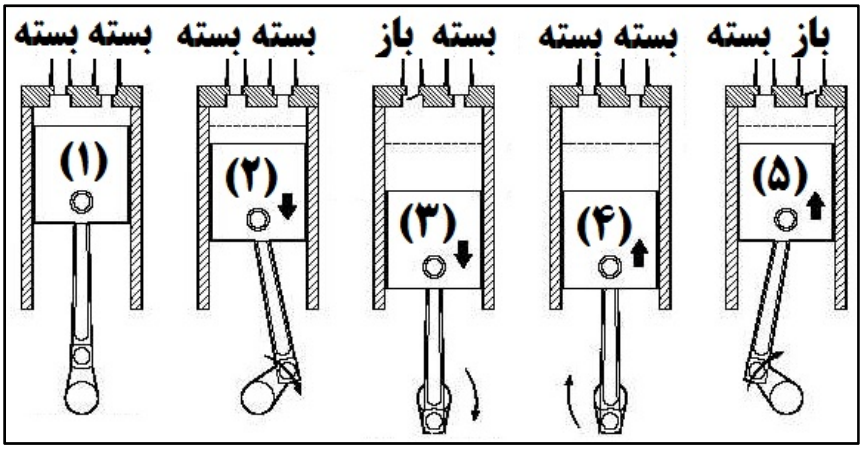
۱- هر دو دریچه بسته است و پیستون در بالاست.

۲- پیستون به پایین می آید (هر دو دریچه بسته است).

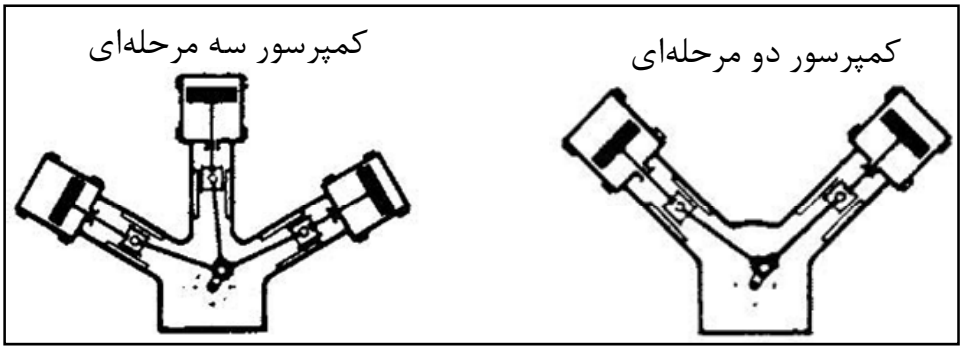
۳- پیستون به پایین می آید (دریچه‌ی ورود باز شده و هوا به داخل می آید).

۴- پیستون به بالا می رود (هر دو دریچه بسته است و هوا متراکم می شود).

۵- پیستون به بالا می رود (دریچه‌ی خروجی باز شده و هوای پرفشار خارج می شود.).



در کمپرسورهای پیستونی چند مرحله ای، خروجی یک سیلندر، به یک سیلندر دیگر (برای افزایش فشار بیشتر) وارد می‌شود (مطابق شکل زیر).



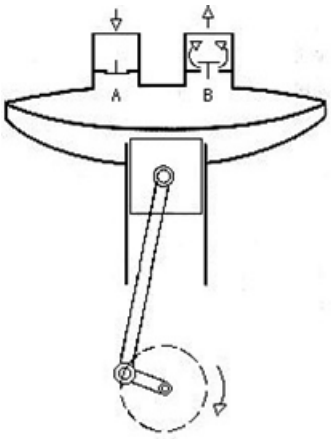
معمولا هنگامی که هوا از یک سیلندر خارج می شود، توسط یک خنک‌کن، مقداری خنک شده و سپس وارد سیلندر بعد می‌شود (به منظور افزایش بازده). زیرا هوا در حین متراکم شدن در سیلندر، داغ می شود و اگر هوای خروجی از سیلندر اول که داغ است با همان حالت داغ بودن، وارد سیلندر دوم شود، بازده سیلندر دوم کم شده و سیلندر دوم نمی‌تواند فشار گاز را زیاد بالا ببرد.

عیب اصلی کمپرسورهای پیستونی به صورت زیر است:

پیستون به منظور جلوگیری از اصطکاک زیاد، روغن کاری می شود (پس در اطراف پیستون روغن وجود دارد). عیب اصلی کمپرسورهای پیستونی این است که مقداری از روغنِ پیستون، وارد هوای خروجی می شود. برای رفع این مشکل، از کمپرسورهای دیافراگمی استفاده می شود که در ادامه توضیح داده می‌شود.

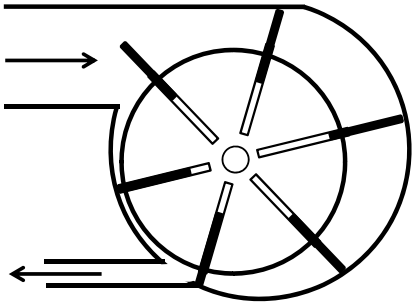
کمپرسورهای دیافراگمی:

این کمپرسور، دقیقاً مانند کمپرسور پیستونی است فقط یک پرده (دیافراگم) در بالای پیستون وجود دارد که مانع از ورود روغن به هوا می شود.



کمپرسور چند سلولی (یا تیغه‌ای):

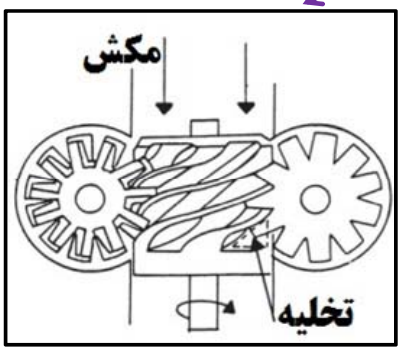
این کمپرسور، یک استوانه‌ی دوار در داخل یک محفظه‌ی دایره ای دارد. بر روی استوانه‌ی دوار، چند تیغه نصب شده است که در هنگام چرخش استوانه، در اثر نیروی گریز از مرکز، بیرون می آیند. بر تیغه ها، حجم هایی از هوا را تشکیل می دهند. این حجم ها با چرخش استوانه‌ی دوار، کوچک شده و فشار هوا در آن زیاد می شود. در نهایت، حجم های هوا، به لوله‌ی خروجی، تخلیه می شوند.

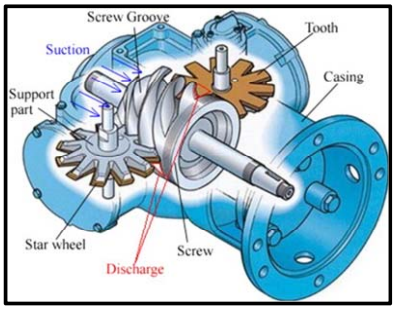


کمپرسور پیچی:

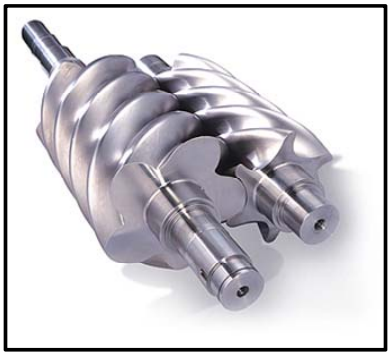
این کمپرسور، بعد از کمپرسور پیستونی، پرکاربردترین نوع کمپرسور است. این کمپرسور، دارای یک یا چند پیچ است که با چرخش خود، فشار هوا را زیاد می کنند (مطابق شکل زیر). این کمپرسور نسبت به نوع پیستونی، دارای لرزش کمتری است (چون در نوع پیستونی، قطعات حرکت رفت و برگشتی دارند که ایجاد لرزش می کند). کمپرسور پیچی به دو دسته‌ی زیر تقسیم می شود:

کمپرسور یک پیچه





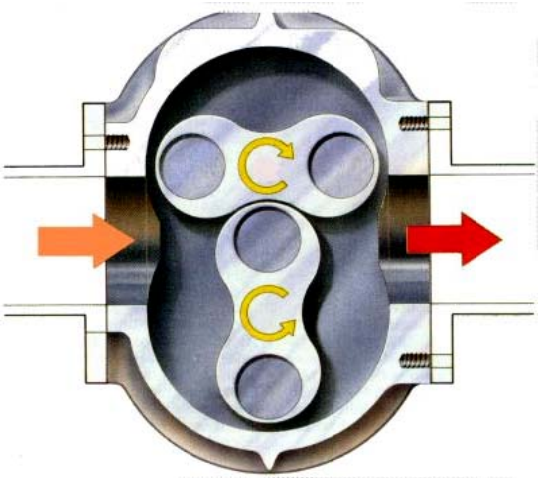
کمپرسور دو پیچه



کمپرسور دو پیچه نسبت به نوع یک پیچه، بازده بیشتری دارد ولی به دلیل اصطکاک بیشتر، هزینه‌ی تعمیر و نگهداری آن نیز بیشتر است.

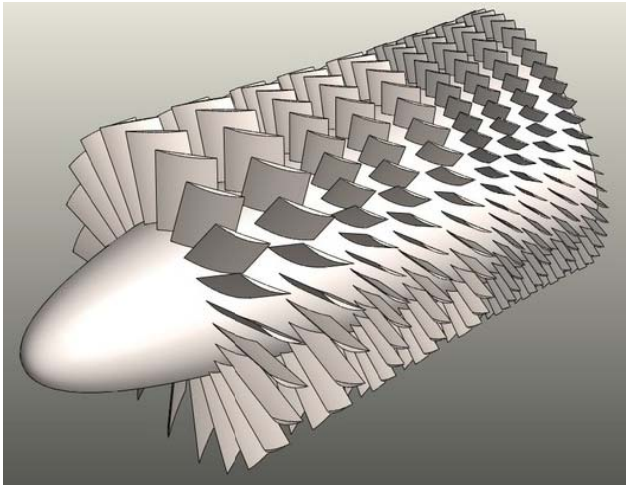
کمپرسور روتس:

این کمپرسور، بیشتر به صورت یک دمنده عمل می کند. فشار تولیدی این کمپرسور کم بوده و حالت پنکه را دارد.



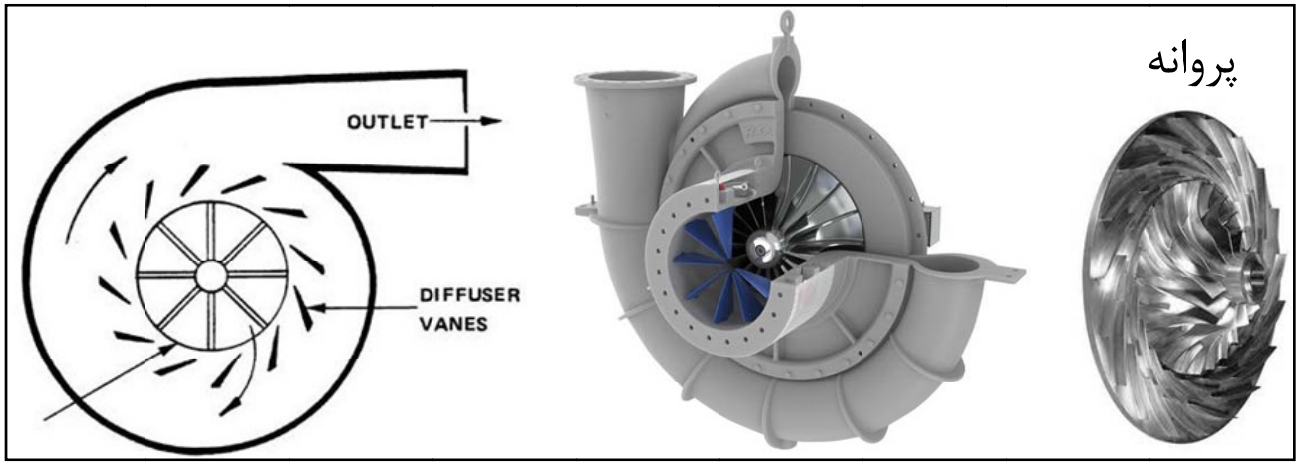
کمپرسور سیالی محوری:

این کمپرسور از تیغه های متعددی تشکیل شده که چرخش تیغه ها، باعث شتاب دادن به هوا می شود (شکل زیر).



کمپرسور سیالی شعاعی:

نام دیگر این نوع، «کمپرسور گریز از مرکز» می باشد. در این کمپرسور، یک پروانه وجود دارد که چرخش آن باعث می شود، نیروی گریز از مرکز به هوا وارد شده و هوا با شتاب، از محور پروانه دور شده و از لوله خروجی، خارج شود. هوا از مرکز پروانه (یعنی نزدیک محور) وارد می شود.



مقایسه‌ی کمپرسور محوری و شعاعی به صورت زیر است:

- ✓ کمپرسورهای محوری، بازده بیشتری نسبت به کمپرسورهای شعاعی دارند.

- ✓ کمپرسورهای شعاعی، ساختمان محکم تری نسبت به کمپرسورهای محوری دارند.

تنظیم فشار تولیدی کمپرسور:

در کاربردهای مختلف، نیاز است تا بتوان فشار هوای خروجی از کمپرسور را تنظیم نمود (چون برخی اوقات ممکن است فشار به طور ناخواسته بالا برود که خطرناک است). روش های مختلف، در ادامه توضیح داده می شود.

- ✓ تنظیم به روش تخلیه: در این روش، یک شیر کنترل فشار پس از کمپرسور گذاشته می شود. هرگاه فشار هوای خروجی از کمپرسور بیش از مقدار مشخصی شود، شیر باز شده و با تخلیه‌ی مقداری از هوا، فشار آن را کاهش می دهد. این روش در کمپرسورهای کوچک استفاده می شود.
- ✓ **تنظیم به روش بستن خط مکش:** در این روش، در هنگام بالا رفتن فشار تولید شده توسط کمپرسور، لوله‌ی ورودی هوا بسته می شود.
- ✓ **تنظیم به روش قطع و وصل کردن:** در این روش، وقتی فشار تولیدیِ کمپرسور بالا رود، کمپرسور قطع می شود و هنگامی که فشار خروجی به حد مجاز برسد، دوباره کمپرسور وصل می شود.

محاسبه‌ی مقدار هوای تولیدی کمپرسور پیستونی:

دبی تئوری هوای تولیدی توسط کمپرسور پیستونی از رابطه‌ی زیر به دست می آید:

$$Q = \forall \times n$$

Q دبی تئوری هوای خروجی از کمپرسور (متر مکعب بر ثانیه)

$\forall$ حجم کورس پیستون (متر مکعب) n تعداد دور کمپرسور (دور بر ثانیه)

دبی حقیقی، مقدار واقعی هوای تولیدی توسط کمپرسور پیستونی است که به عوامل متعددی (مانند دما، فشار تولیدی و....) بستگی داشته و در این درس رابطه ای برای آن نداریم.

۱۷- لوله‌ها و اتصالات پنوماتیکی

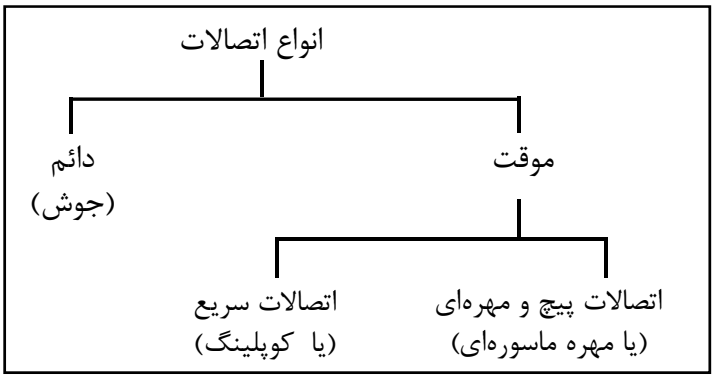
بعد از این که هوای فشرده، توسط کمپرسور تولید شد، باید آن را به مصرف کننده انتقال داد. انتقال هوای فشرده از کمپرسور تا مصرف کننده، توسط لوله ها انجام می شود. دو نوع کلی لوله های موجود برای انتقال هوای فشرده عبارتند از:

۱- لوله های فلزی ۲- لوله های غیرفلزی

لوله های فلزی انواع مختلفی دارند از جمله:

- ✓ **لوله‌های آهنی:** این لوله ها از جنس آهن سیاه و آهن گالوانیزه می باشند. آهن گالوانیزه به دلیل مقاومت در برابر زنگ زدگی، از آهن سیاه بهتر است. لوله های آهنی برای فشارهای تا ۱۶ بار مناسب هستند. اتصالات این لوله ها از جنس پیچ و جوش می باشد.
- ✓ **لوله‌های فولاد ضد زنگ (Stainless steel):** هوای عبوری از این لوله ها تمیز و با کیفیت است (چون زنگ نمی زنند). اتصالات این لوله ها از جنس پیچ و جوش می باشد.
- ✓ **لوله های آلومینیومی:** این لوله ها کم وزن و مقاوم در برابر زنگ زدگی هستند. این لوله ها در صنایعی که احتمال جرقه و حرارت بالا وجود دارد استفاده نمی شوند.
- ✓ **لوله‌های مسی:** چون راحت خم می شوند، در سیستم هایی که جایِ کمی دارند استفاده می شوند.
- ✓ **لوله های پلاستیکی:** این لوله ها از جنس پلی اتیلن و پلی آمید هستند. خواص این لوله ها عبارتند از: * تحمل لرزش * ضد انبساط حرارتی * ضد فرسایش * زنگ نمی زند.
- ✓ **شیلنگ‌ها:** شیلنگ‌ها قابلیت انعطاف داشته و از جنس هایی مثل پلی یورتان هستند.

حال که لوله‌های انتقال سیالات پنوماتیک را بررسی نمودیم، به معرفی اتصالات مورد استفاده در سیستم‌های پنوماتیک می‌پردازیم. اتصالات، قسمت‌هایی هستند که لوله ها (و در حالت کلی، اجزای مختلف) را به یکدیگر وصل می‌کنند. اتصالات همانند لوله ها به دو نوع فلزی و غیرفلزی تقسیم می شوند. انواع اتصالات در نمودار زیر ارائه شده است:



اتصالات دائم:

اتصال دائم به اتصالی گفته می شود که برای جداسازی آن ها وسیله‌ی اتصال و قسمتی از قطعات متصل شده یا تمامی آن ها آسیب ببینند. به همین دلیل به اتصالات دائم، اتصالات جدانشدنی هم می گویند. معمولاً قطعاتی که عمرشان بسیار زیاد است و نیازی به تعمیر پیدا نمی کنند با استفاده از اتصال دائم به یکدیگر متصل می گردند. برخی از اتصالات دائم عبارتند از: جوش، لحیم و چسب. اتصالات جوشی، بهترین نوع اتصالات برای سیستم های هوای فشرده هستند (زیرا احتمال نشتی آنها بسیار کم است). در روش جوش دادن، دو قطعه به یکدیگر نزدیک شده و به هم جوش داده میشوند.

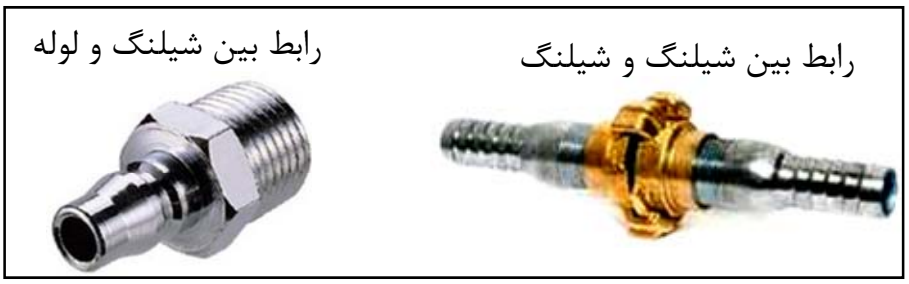
اتصالات موقّت:

در اتصالات موقت، دو قطعه توسط یک اتصال به یکدیگر وصل می شوند و در صورت نیاز می توان آن ها را جدا نمود. چند نمونه از اتصالات موقت موجود در صنعت پنوماتیک به صورت زیر است:

همان‌طور که در بالا نیز بیان شد، اتصالات موقت به دو نوع اتصالات پیچ و مهره‌ای و اتصالات سریع (یا کوپلینگ‌ها) تقسیم می‌شوند که هر یک را در ادامه توضیح می‌دهیم:

- ✓ **اتصالات پیچ و مهره‌ای:** در این اتصالات، دو لوله توسط پیچ و مهره و به کمک آچار به یکدیگر وصل می‌شوند. دو طرف این اتصالات لوله‌ها فلزی وصل می‌شود.

- ✓ **اتصالات سریع (کوپلینگ ها):** در این اتصالات، دو قطعه با فشار به یکدیگر وصل می شوند و نیازی به آچار نیست (مثلاً یک رابط که دو شیلنگ به دو طرف آن وصل می‌شوند). کوپلینگ‌هایی که عمل تبدیل را انجام می‌دهند، به دو صورت زیر هستند:



کوپلینگ‌هایی که رابط بین شیلنگ و شیلنگ هستند، به دو طرف آن‌ها فقط می‌توان شیلنگ وصل کرد و کوپلینگ‌هایی که رابط بین لوله و شیلنگ هستند، به یک طرف آن باید شیلنگ و به طرف دیگر آن باید لوله وصل کرد.

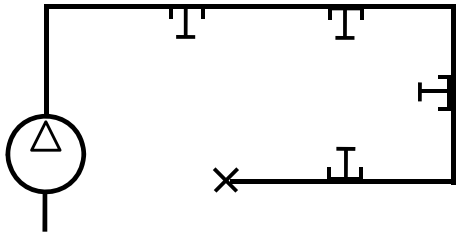
۱۸– شبکه‌ی هوای فشرده

در یک کارخانه، معمولاً چندین مصرف کننده برای هوای فشرده وجود دارد. به روش های مختلفی می توان هوای فشرده را به مصرف کننده ها رساند. انواع روش های لوله کشی هوای فشرده به صورت زیر است:

۱- سیستم انشعابی خطی ۲- سیستم حلقوی ۳- سیستم شبکه ای

سیستم انشعابی خطی:

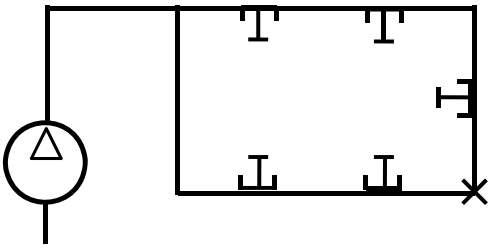
در سیستم انشعابی خطی، یک خط اصلی وجود دارد که مصرف‌کننده‌ها به آن وصل می شوند (شکل زیر).



در این شبکه باید تمام لوله‌ها شیب ۱ تا ۲درصد داشته باشند تا قطرات آب احتمالی که در هوا وجود داشته باشد به واسطه‌ی این شیب، به انتهای مسیر رسیده و تخلیه شود. در شکل بالا، قطراتِ احتمالی آب، از انتهای مسیر تخلیه می شوند.

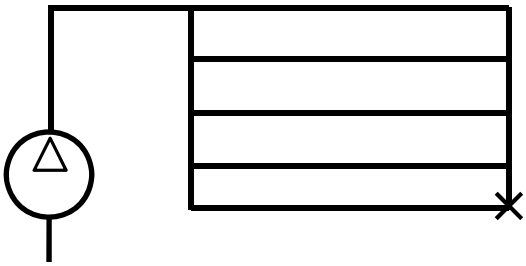
سیستم حلقوی:

در این سیستم، مسیر جریان هوای فشره به صورت یک حلقه است. مزیت سیستم حلقوی این است که در تمام مسیر تقریباً فشار یکنواختی داریم، یعنی تمام مصرف کننده ها تقریباً فشار یکسانی را دریافت می کنند. در این سیستم، باید شیب لوله ها را به گونه ای تنظیم کرد که از مناطق انتهایی حلقه، آب های احتمالی موجود در هوا، خارج شوند.



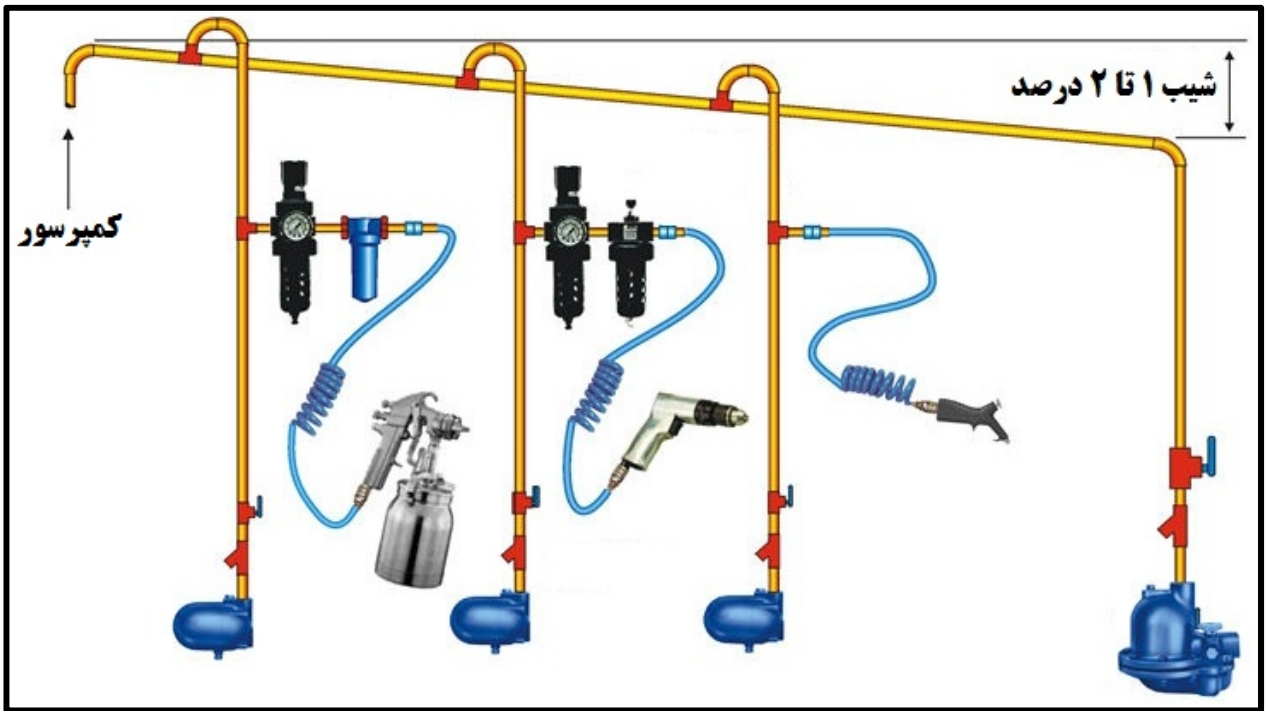
سیستم شبکه‌ای:

در این سیستم، چند حلقه وجود دارد. در سیستم شبکه ای، تمام مسیر تقریباً فشار یکنواختی دارد (مانند سیستم حلقوی). در این سیستم، باید شیب لوله ها را به گونه ای تنظیم کرد که از مناطق انتهایی حلقه، آب های احتمالی موجود در هوا، خارج شوند. مزیت این سیستم نسبت به سیستم انشعابی و حلقوی این است که اگر در یکی از حلقه ها مشکلی به وجود آید می توان جریان همان حلقه را قطع نمود و بقیه‌ی حلقه ها به کار خود ادامه دهند.



نمونه‌هایی از لوله‌کشی هوای فشرده:

شکل زیر، یک نمونه شبکه‌ی هوای فشرده را نشان می دهد. نکات این شبکه در ادامه توضیح داده می شود.



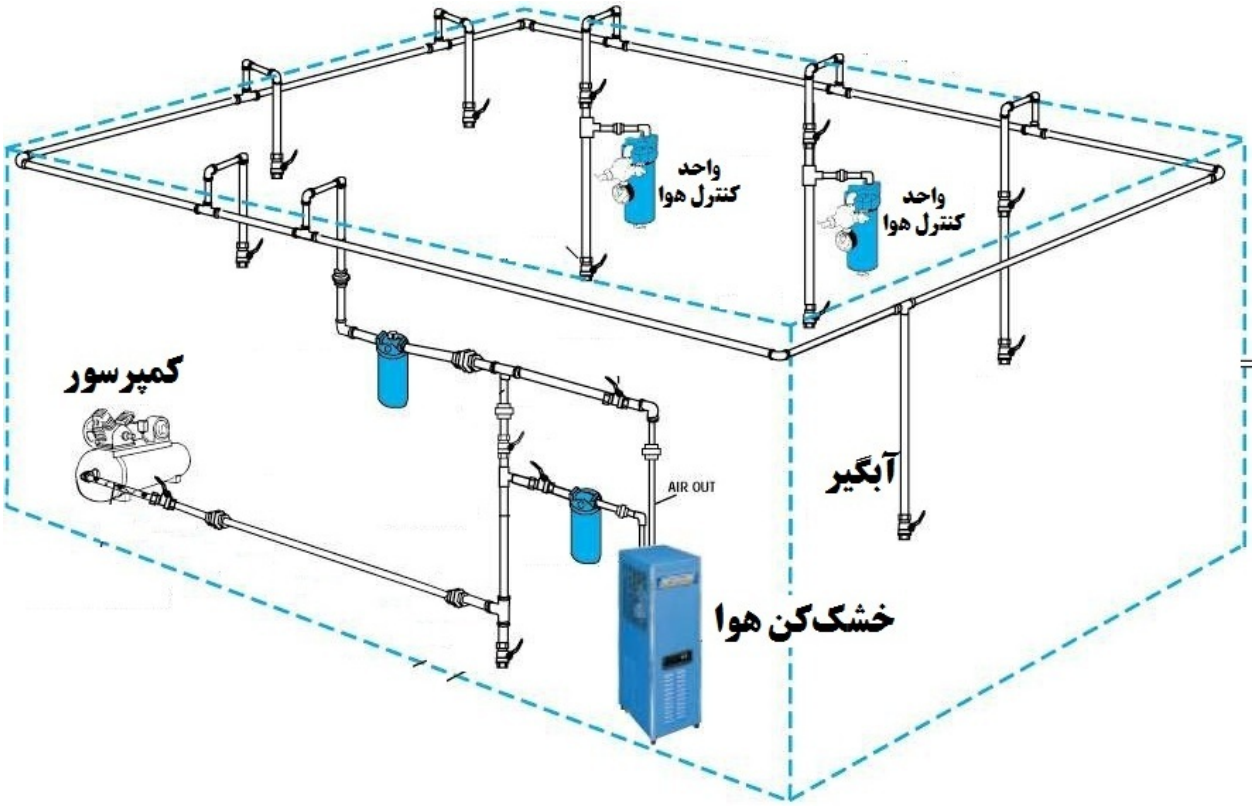
۱- نوع شبکه‌ی هوای فشرده، «انشعابی خطی» است.

۲- لوله‌ی اصلی دارای یک شیب ۱ تا ۲ درصد است تا آب های احتمالی موجود در هوای فشرده، از انتهای لوله تخلیه شود.

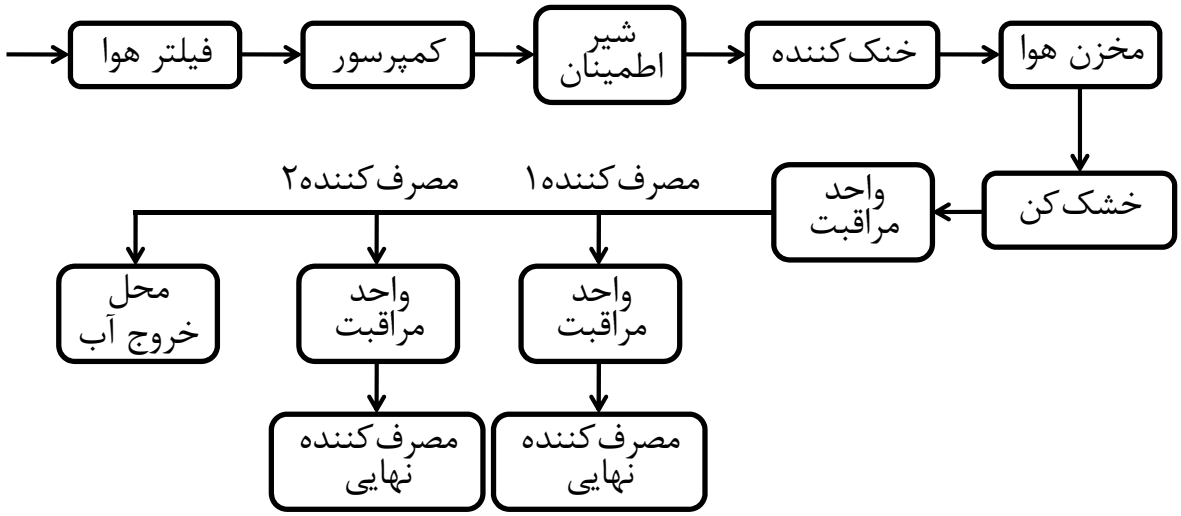
۳- سه انشعاب در سیستم وجود دارد (هر یک از خطوط فرعی که از خط لوله اصلی جدا شده و به یک مصرف کننده وصل می شود، یک انشعاب است).

۴- انشعاب باید به صورتی باشد که در شکل فوق نشان داده شده است (دارای یک انحنا به بالا)، تا از ورود قطرات احتمالی آب به خط لوله‌ی فرعی، جلوگیری شود.

در شکل زیر، نمونه‌ای دیگر از شبکه‌ی هوای فشرده مشاهده می‌شود. در شکل زیر، شبکه‌ی هوای فشرده از نوع حلقوی است. منظور از واحد کنترل هوا، همان «واحد مراقبت» است.



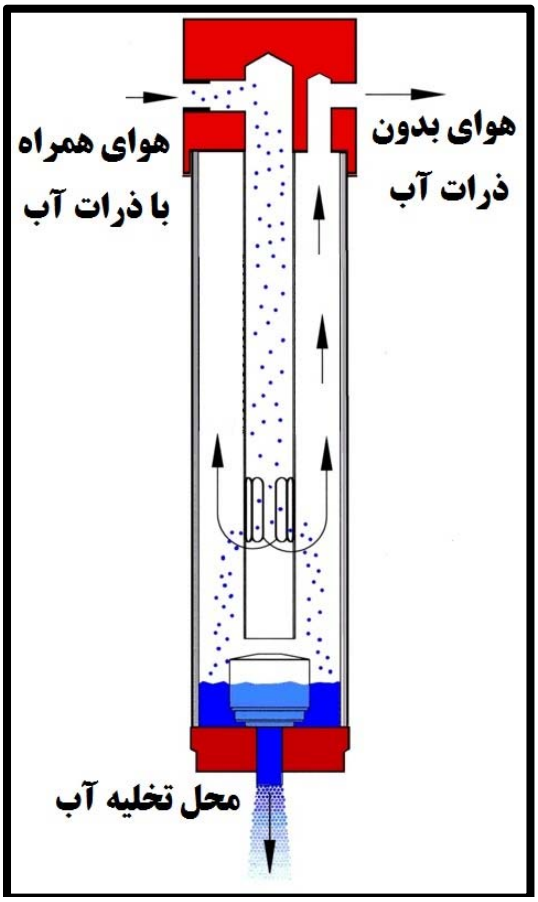
نمودار زیر، ساختار کلی یک نمونه سیستم پنوماتیک را نشان می‌دهد:



** البته آرایش های متعددی برای سیستم های پنوماتیک وجود دارد و سیستم بالا، یک نمونه جهت آشنایی با ساختار کلی سیستم های پنوماتیک می باشد.

آبگیر یا جداکننده‌ی آب:

آبگیرها قطعاتی هستند که ذرات آب موجود در هوا را جدا می کنند. در شکل مقابل، از وسط آبگیر، ذرات آب به دلیل چگالی بالا، به پایین سقوط کرده و هوا به سمت خروجی که در بالاست می رود. آبگیرها به اندازه‌ی خشک کن هوا، توانایی جداسازی رطوبت هوا را ندارند. (یادآوری: خشک کن، با روشهای شیمیایی و یا سرد کردن، هوا را خشک می کند).



آبگیرها در مکان های مختلفی بسته به نیاز سیستم پنوماتیک نصب می شوند. برخی از مکان های رایج نصب آبگیرها عبارتند از:

۱- بعد از کمپرسور و قبل از مخزن.
۲- در داخل مخزن که آب های احتمالی آن تخلیه شود.
۳- در داخل واحد مراقبت.
۴- در انتهای لوله‌ی اصلی شبکه که آبهای احتمالی تخلیه شود.

محل آبگیر، بسته به نیاز سیستم، می تواند مناطقی غیر از موارد بالا هم باشد.

۱۹– افت فشار

مبحث افت فشار در سیستم های پنوماتیکی، دقیقاً مانند مبحث افت فشار در سیستم های هیدرولیکی است، لذا برای مطالعه‌ی این بخش می‌توانید به مبحث افت فشار در قسمت هیدرولیک مراجعه نمایید.

۲۰– شیرهای پنوماتیکی

انرژی هوای فشرده توسط شیرهای پنوماتیکی کنترل می‌شود. شیرهای پنوماتیکی از نظر ساختار و دسته بندی، تقریباً همانند شیرهای هیدرولیکی است. لذا در ادامه مختصراً اشاره می شود. شیرها به سه دسته‌ی کلی زیر تقسیم می شوند:

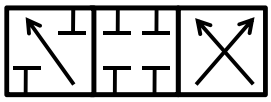
* شیرهای کنترل جهت
* شیرهای کنترل فشار
* شیرهای کنترل دبی جریان

شیرهای کنترل جهت:

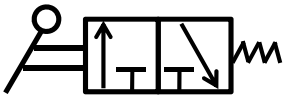
انواع این شیرها به صورت زیر هستند:

- ✓ شیر یک طرفه: به سیال، اجازه‌ی حرکت در یک جهت را می دهد.

- ✓ شیر یک طرفه با تحریک خط زمان: این شیر در یک جهت به سیال اجازه عبور می دهد و اگر یک فرمان از خطی با عنوان «خط زمان» به آن صادر شود، در جهت مخالف نیز به سیال اجازه‌ی عبور می دهد.
- ✓ شیرهای چند راهه (راه دهنده): در شیرهای چند راهه، چند راه ورودی و چند راه خروجی وجود دارد.

نمادگذاری شیرهای چند راهه‌ی پنوماتیکی دقیقاً مانند نمادگذاری شیرهای چند راهه‌ی هیدرولیکی است. شیری که در شکل روبروکشیده شده است، یک شیر ۳/۴ است 

نمادگذاری تحریک شیرهای چندراهه‌ی پنوماتیک، دقیقاً مانند نمادگذاری تحریک شیرهای چندراهه‌ی هیدرولیکی است.

شیر روبرو یک شیر ۲/۳ با تحریک اهرمی و همراه با بازگشت فنری است 

شیرهای کنترل فشار:

انواع این شیرها به صورت زیر هستند:

- ✓ شیر اطمینان ساده: اگر فشار از مقدار خاصی بالاتر برود، دریچه‌ی تخلیه‌ی شیر باز می‌شود و سیال تخلیه شده و فشار آن کاهش می‌یابد.
- ✓ شیر تنظیم کننده‌ی فشار (رگولاتور فشار): این شیر می تواند فشار را در یک مقدار مشخص، ثابت نگه دارد.
- ✓ شیر متعادل کننده: این شیر، مقاومت مشخصی در مقابل عبور جریان در یک جهت ایجاد می کند؛ و در جهت دیگر، اجازه عبور آزاد را می دهد. در هنگام برگشت سیلندر تحت نیروی جاذبه کاربرد دارد.

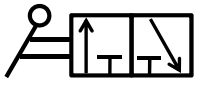
شیرهای کنترل دبی:

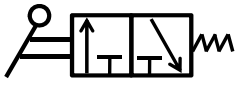
شیرهای پنوماتیکیِ کنترل دبی جریان، همانند شیرهای هیدرولیکی کنترل دبی جریان، شامل دو نوع زیر هستند:

- ✓ شیر گلویی
- ✓ شیر دیافراگمی

شیر حافظه‌دار:

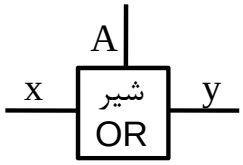
شیرهایی که فنر ندارند را شیر های حافظه دار می گویند. این شیرها، اگر تحریکی دریافت کرده و حالت شیر را تغییر دهند، با قطع شدن تحریک، همان حالت را حفظ می کنند و فقط زمانی که تحریک جدیدی به آن ها برسد، حالت شیر را عوض می کنند.

شیر حافظه‌دار 

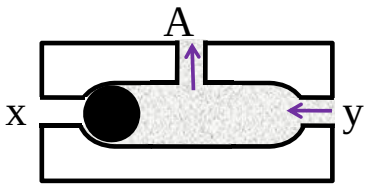
شیر عادی (بدون حافظه) 

شیر OR (یا):

یکی از انواع شیرهای کنترل جهت است. نام دیگر آن شیر تعویض کننده است. دارای دو ورودی به نام های x و y و یک خروجی به نام A مطابق شکل زیر است:



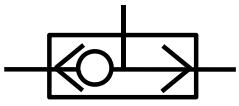
اگر جریان از x وارد شود یا از y وارد شود یا از هر دو وارد شود، از A خارج خواهد شد. ساختار این شیر به صورت زیر است:



جدول صحت شیر به صورت زیر است (۱ یعنی جریان وجود دارد و ۰ یعنی جریان وجود ندارد):

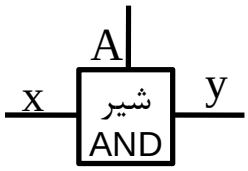
x	y	A
۱	۰	۱
۰	۱	۱
۱	۱	۱
۰	۰	۰

نماد شیر OR به صورت روبرو است:



شیر AND (و):

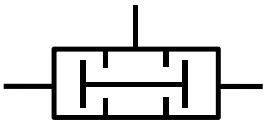
نام دیگر این شیر، شیر دو فشاره است. دارای دو ورودی به نام های x و y و یک خروجی به نام A است



جدول صحت شیر به صورت زیر است (۱ یعنی جریان وجود دارد و ۰ یعنی جریان وجود ندارد):

x	y	A
۱	۰	۰
۰	۱	۰
۰	۰	۰
۱	۱	۱

نماد شیر AND به صورت روبرو است:



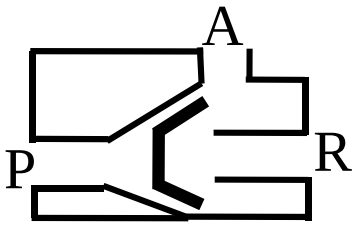
ساختار شیر AND را از روی نماد آن نیز می توان دریافت. اگر جریان فقط از یکی از شاخه ها وارد شود؛ پیستون، مسیر آن شاخه را بسته و جریان متوقف می شود. ولی اگر از هر دو شاخه جریان داشته باشیم، پیستون در وسط، حالت معلق داشته و جریان از هر دو شاخه، از اطراف آن عبور می کند.

شیر NOT (نه):

شیرهایی که در حالت عادی باز هستند و اگر تحریک یا فرمانی به آن ها برسد، مسیر را می بندند.

شیر تخلیه‌ی سریع:

این شیر دارای یک ورودی (P)، یک خروجی (A) و یک مسیر تخلیه (R) است. شکل زشیر به صورت زیر است:

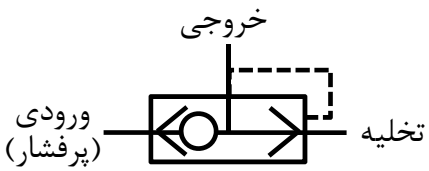


دو حالت زیر در شیر وجود دارد:

۱- جریان پر فشار از مسیر ورودی (P) به شیر وارد شود. در این حالت، زائده‌ی داخل شیر، مسیر تخلیه (R) را می‌بندد و هوا از مسیر خروجی (A) خارج می‌شود.

۲- جریان از مسیر خروجی (A) به شیر وارد شود. در این حالت زائده‌ی داخل شیر، مسیر ورودی (P) را بسته و جریان از طریق مسیر تخلیه (R) به بیرون تخلیه می‌شود.

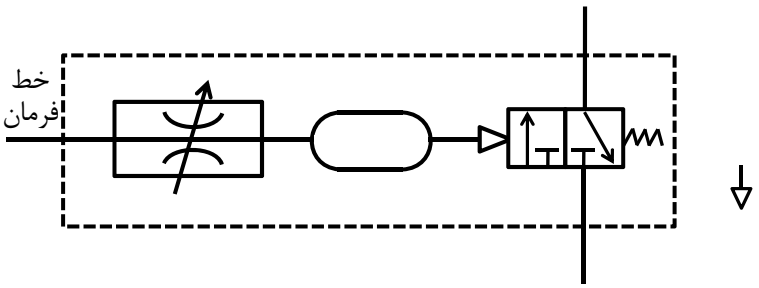
این شیر را قبل از سیلندر قرار می دهند که باعث می شود، در هنگام حرکت پیستون، هوای پشت پیستون، از طریق مسیر تخلیه‌ی این شیر، خیلی سریع به محیط تخلیه شود. نماد شیر تخلیه‌ی سریع به صورت زیر است (کلمات فارسیِ نوشته شده در نماد، جزء نماد این شیر نیستند و صرفاً جهت درک بهتر نماد نوشته شده اند):



شیر تأخیر زمانی (تایمر پنوماتیکی):

در این شیر، با یک تأخیر زمانی حالت شیر تغییر می کند. ساختمان تایمر پنوماتیکی به صورت زیر است که از این سه قسمت تشکیل شده است:

۱- شیر کنترل دبی جریان ۲- مخزنک (مخزن کوچک) ۳- شیر چند راهه



روند کار تایمر پنوماتیکی به صورت زیر است:

* شیر چند راهه‌ی ۳/۲ در حالت عادی بسته است.

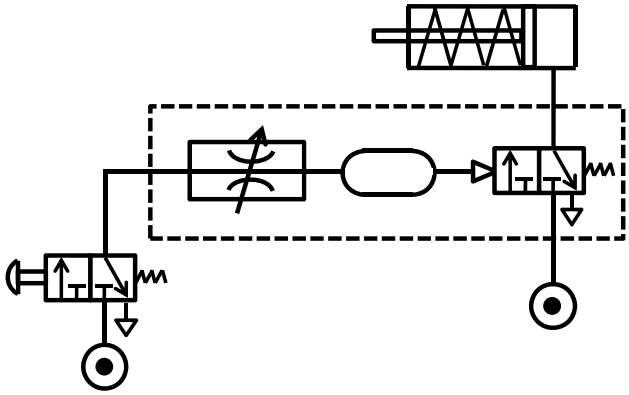
* سیال از خط فرمان وارد شیر کنترل دبی شده و از آنجا به مخزنک وارد می شود.

* مخزن پس از چند لحظه پر می‌شود و آنگاه جریان با عبور از مخزن، تحریک‌کننده‌ی شیر ۳/۲ را فعال کرده و این شیر باز می‌شود.

** با تنظیم میزان دبی عبوری از شیر کنترل دبی، می توان مقدار تأخیر زمانی را تنظیم نمود.

****

مثال: در شکل زیر، یک مدار همراه با تایمر پنوماتیکی را مشاهده می‌نمایید.

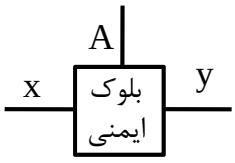


وقتی کاربر، دکمه‌ی فشاریِ شیر ۲/۳ سمت چپ را فشار دهد، هوای پرفشار وارد دستگاه تایمر زمانی شده و به دبی سنج وارد می شود. چند ثانیه طول می کشد تا مخزنک پر شود. سپس هوای پرفشار به شیر ۲/۳ (که در داخل تایمر زمانی وجود دارد) رسیده و آن شیر را در حالت باز قرار می دهد. در این حالت هوای پرفشار وارد سیلندر شده و سیلندر کار خود را انجام می دهد.

****

بلوک ایمنی (ZSB):

بلوک ایمنی در حقیقت یک شیر است. این شیر دو ورودی و یک خروجی دارد و بسیار شبیه به شیر AND است (شکل زیر). اگر هم زمان هم از مسیر x و هم از مسیر y جریان وارد شیر شود، آنگاه جریان از خروجی (A) خارج خواهد شد. اگر اختلاف زمان جریان ورودی به مسیر x و مسیر y بیشتر از نیم ثانیه باشد، جریان از A خارج نخواهد شد. این شیر، در دستگاه های پرس کاربرد دارد که مثلاً هم‌زمان دو دکمه فشرده شود تا دستگاه پرس، عمل پرس را انجام دهد.



۲۱- سیلندرهای پنوماتیکی

سیلندرهای پنوماتیکی به دو دسته‌ی زیر تقسیم می شوند:

۱- سیلندرهای خطی (که حرکت رفت و برگشتی دارند) ۲- سیلندرهای دورانی (که حرکت دورانی تولید می‌کنند)

سیلندرهای خطی به دو دسته‌ی زیر تقسیم می شوند:

۱- سیلندر یک کاره یا یک طرفه که فقط در یک جهت می تواند نیرو وارد کند.

۲- سیلندر دوکاره یا دوطرفه که در دو جهت می تواند نیرو وارد کند.

سیلندرهای دورانی به دو دسته‌ی زیر تقسیم می شوند:

۱- سیلندر با دوران محدود: این سلندرها فقط مقدار اندکی دوران ایجاد می کنند (مثلاً ۲۷۰ درجه)

۲- سیلندر با دوران نامحدود: که همان موتورهای پنوماتیکی هستند که به طور دائم، حرکت دورانی ایجاد می‌کنند.

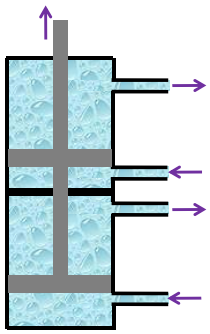
در ادامه انواع این سیلندرها را بررسی می‌نماییم.

سیلندر دیافراگمی (بالشتکی):

این سیلندر به صورت یک محفظه‌ی لاستیکی است که هوای پرفشار وارد آن شده و آن را باد می‌کند. لذا این محفظه می‌تواند مثلاً یک وزنه را بلند کند. اگر فشار هوا قطع شود، تحت اثر وزن جسم، باد سیلندر خالی می شود. از آن‌جایی که این سیلندر حرکت خطی تولید می‌کند، جزء سیلندرهای خطی دسته‌بندی می‌شود.

سیلندر پهلو به پهلو یا تاندِم (Tandem cylinder):

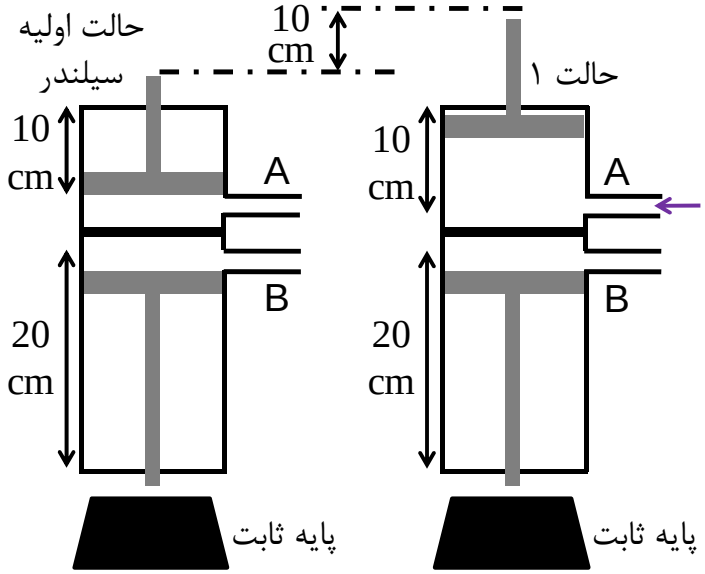
این سیلندر، شبیه یک سیلندر معمولی است که دو پیستون دارد و نیروی تولیدی آن بیشتر از یک سیلندر تک پیستونه است (تقریباً دو برابر). این سیلندر دو محفظه دارد که در هر محفظه یک پیستون وجود دارد. هر پیستون به اندازه‌ی یک سیلندر معمولی نیرو وارد می کند پس سیلندر تاندم تقریباً دو برابر یک سیلندر عادی نیرو وارد می کند. البته جابجایی پیستون در سیلندر تاندم کمتر است. کورس این سیلندر تقریباً نصف کورس سیلندر عادی است. از آن‌جایی که این سیلندر حرکت خطی تولید می‌کند، جزء سیلندرهای خطی دسته‌بندی می‌شود.



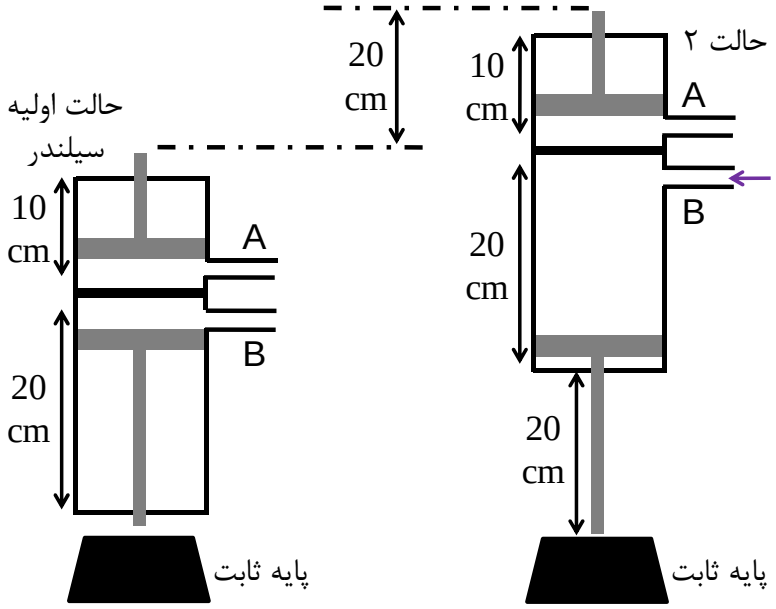
سیلندر چند حالتی یا چند وضعیتی (Multi position cylinder):

این سیلندر، از چند سیلندر در کنار هم تشکیل شده است و می تواند کورس بیشتری ایجاد کند. این سیلندر، چند حالت دارد که در ادامه توضیح می دهیم:

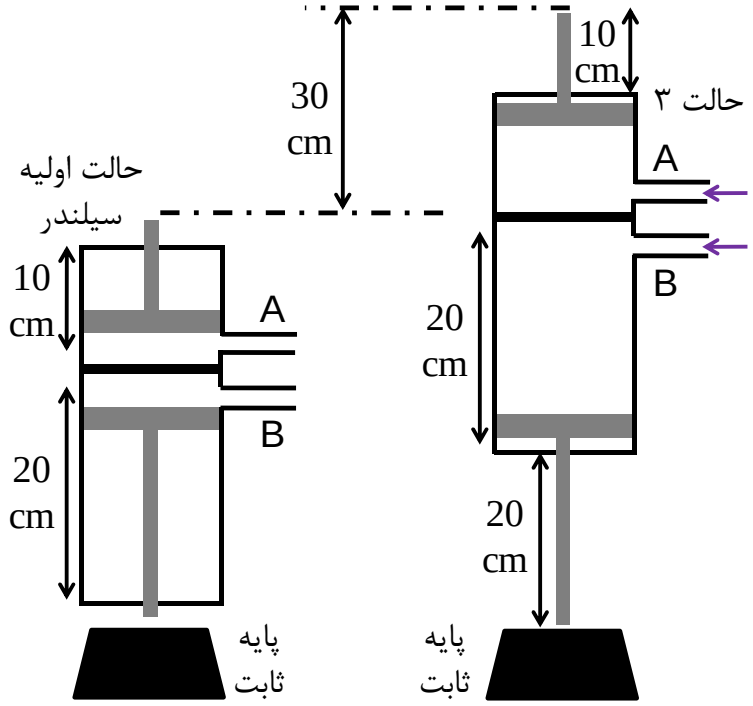
حالت ۱: هوای فشرده از مسیر A وارد سیلندر بالایی شده و پیستون را بالا می برد. در این حالت سیلندر می تواند ۱۰ سانتی متر بالا برود (مثلاً وزنه را ۱۰ سانتی متر جابجا کند).



حالت ۲: هوای فشرده از مسیر B وارد سیلندر پایینی شده و پیستون را بالا می برد. در این حالت سیلندر می تواند 20cm بالا برود (مثلاً وزنه را ۲۰ سانتی متر جابجا کند).



حالت ۳: هوای فشرده هم از مسیر A و هم از مسیر B وارد شده و در نهایت یه جابجایی 30cm را ایجاد می کند.



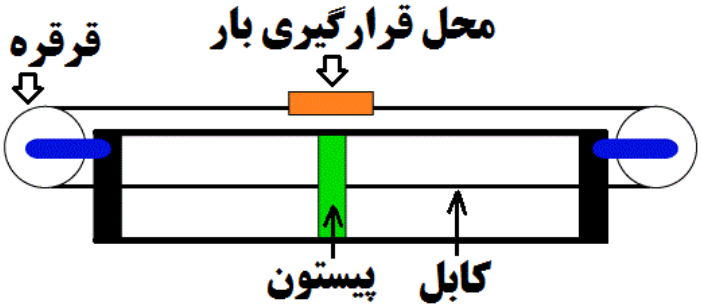
** پس، از جمع کردن دو سیلندر 10cm و 20cm، می توان جابجایی 30cm ایجاد نمود. از آن‌جایی که این سیلندر حرکت خطی تولید می‌کند، جزء سیلندرهای خطی دسته‌بندی می‌شود.

سیلندر ضربه‌ای:

در برخی صنایع نیاز است تا ضربه های خیلی سریع وارد شود. مثلاً در صنایع پرس کاری، شکل دهی فلزات و . . .. در این موارد از سیلندرهای ضربه ای استفاده می شود که سرعت های بسیار بالا دارند (در حدود ۱۰ تا ۷۵ متر بر ثانیه). از آن‌جایی که این سیلندر حرکت خطی تولید می‌کند، جزء سیلندرهای خطی دسته‌بندی می‌شود.

سیلندر کابلی:

سیلندری است که محور ندارد (شکل زیر).



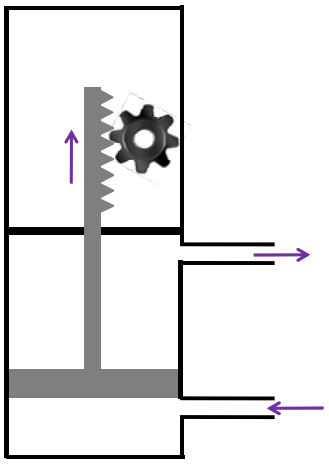
پیستون حرکت کرده و کابل را می چرخاند و بار را به چپ و راست جابجا می کند. در سیلندرهای عادی، ممکن است میله‌ی پیستون در بارهای زیاد خم شود ولی سیلندر کابلی این مشکل را ندارد. از آن‌جایی که این سیلندر حرکت خطی تولید می‌کند، جزء سیلندرهای خطی دسته‌بندی می‌شود.

سیلندر دورانی:

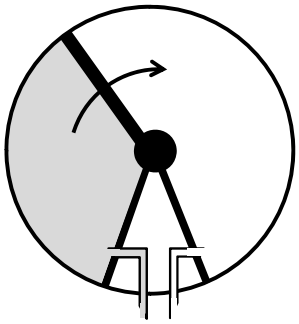
سیلندری است که حرکت دورانی ایجاد می کند که به دو دسته‌ی زیر تقسیم می شود:

۱- سیلندر دورانی با دوران محدود ۲- سیلندر دورانی با دوران نامحدود (موتور پنوماتیکی)

شکل روبرو سیلندری با دوران محدود را نشان می‌دهد. پیستون تحت تأثیر هوای پرفشار بالا آمده و چرخدنده را می چرخاند و حرکت دورانی تولید می شود.



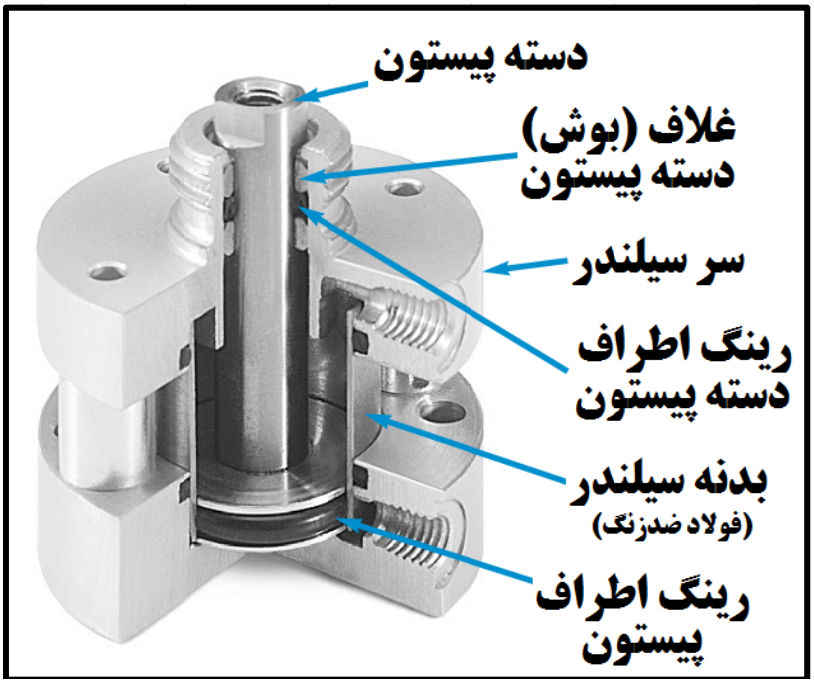
یک نمونه‌ی دیگر از سیلندر دورانی را در شکل زیر مشاهده می نمایید.



در سیلندر دورانی بالا، هوای فشرده، از کانال سمت چپ وارد محفظه شده و به شاخص سیلندر، حرکت دورانی می‌دهد. دو نمونه سیلندر دورانی که در بالا مطرح شد، حرکت دورانی محدود تولید می‌کنند پس جزء سیلندرهای دورانی با دوران محدود هستند.

اجزای سیلندر پنوماتیکی:

اجزای مهم یک سیلندر پنوماتیکی در شکل زیر نشان داده شده است.



محاسبه‌ی نیروی سیلندرهای خطی:

نیروی تئوری تولید شده در یک سیلندر خطی از رابطه‌ی زیر به دست می آید:

$$F_t = P \times A$$

F_t نیروی تئوری سیلندر (نیوتن) P فشار سیال (پاسکال) A مساحت پیستون (متر مربع)

نیروی واقعی از رابطه‌ی زیر به دست می آید:

$$F = F_t - F_R$$

F نیروی واقعی سیلندر (نیوتن) F_t نیروی تئوری سیلندر (نیوتن) F_R نیروی اصطکاک (نیوتن)

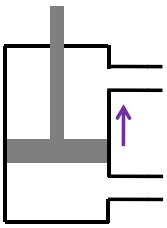
اگر فشار گازِ درون سیلندر در محدوده‌ی ۴ تا ۸ بار، باشد، نیروی اصطکاک (F_R) در این محدوده خواهد بود:

$$F_R \approx (\%3 - \%20)F_t$$

اگر نیروی رفت سیلندر را خواسته باشیم، باید سطح مقطع پیستون در جهت رفت را در روابط بالا بگذاریم (جهت برگشت نیز به همین صورت است).

****

مثال (نیروی سیلندر خطی): سیلندر روبرو، قطر 50mm دارد و سیالی با فشار 6bar به آن وارد می شود. نیروی واقعی تولید شده در این سیلندر، در جهتی که در شکل نشان داده شده است، چقدر است؟ نیروی اصطکاک ۱۰٪ نیروی تئوری و قطر دسته پیستون 10mm است.



پاسخ: مساحت پیستون و نیروی تئوری را می یابیم.

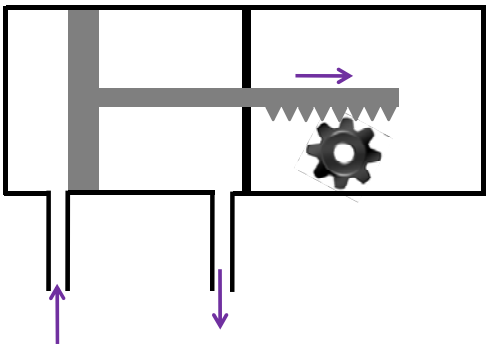
$$A = \pi r^2 = \pi\left(25\times10^{-3}\right)^2 = 0.00196m^2 \longrightarrow F_t = PA = \left(6\times10^5\right)0.00196 = 1177.5N$$

$$F_R = 0.1\times F_t = 0.1\times1177.5 = 117.7N \longrightarrow F = F_t - F_R = 1177.5 - 117.7 = 1059.8N$$

****

محاسبه‌ی گشتاور سیلندر دورانی:

گشتاور تولید شده در سیلندر دورانی از نوعی که در شکل زیر مشاهده می شود، از رابطه‌ی زیر به دست می آید:



$$T = P \times A \times r$$

T گشتاور تولیدی (نیوتن متر) P فشار سیال (پاسکال) A مساحت پیستون (متر مربع) r شعاع چرخدنده (متر)

محاسبه‌ی میزان هوای مصرفی سیلندر خطی:

میزان هوای مصرفی سیلندرهای خطی دو کاره از رابطه‌ی زیر به دست می آید:

$$Q = \forall \times n \times \frac{(P + P_0)}{P_0}$$

Q دبی هوای مصرفی (مترمکعب بر ثانیه) $\forall$ حجم سیلندر (متر مکعب) n تعداد سیکل سیلندر در ثانیه

P فشار هوا در داخل سیلندر (پاسکال) P_0 فشار محیط (پاسکال)

در سیلندر یک کاره از رابطه‌ی زیر استفاده می‌کنیم:

$$Q = 2\forall n \frac{(P + P_0)}{P_0}$$

یادآوری: حجم سیلندر از رابطه‌ی زیر به دست می آید:

$$\forall = \pi r^2 \times S$$

$\forall$ حجم سیلندر (متر مکعب) S طول کورس پیستون (متر) r شعاع سیلندر (متر)

****

مثال: یک سیلندر پنوماتیکی دو کاره به قطر 10cm و طول کورس 80cm موجود است. این سیلندر فشار 6bar داشته و در هر دقیقه ۵۰ سیکل انجام می دهد. میزان هوای مصرفی توسط این سیلندر را بیابید (فشار محیط 1bar است).

پاسخ: ابتدا حجم سیلندر را محاسبه می کنیم.

$$\forall = \pi r^2 \times S = \pi\left(5 \times 10^{-2}\right)^2 \times \left(80 \times 10^{-2}\right) = 0.00628 m^3$$

حال تعداد سیکل در ثانیه (n) را حساب می کنیم.

$$n = \frac{50}{60} = 0.833$$

حال طبق رابطه‌ی اصلی داریم:

$$Q = \forall \times n \times \frac{(P + P_0)}{P_0} = 0.00628 \times 0.833 \times \frac{\left(6 \times 10^5 + 1 \times 10^5\right)}{1 \times 10^5} = 0.0366 \frac{m^3}{s}$$

****

توان (ظرفیت) مورد نیاز برای کمپرسور:

توان مورد نیاز برای تأمین دبی Q در فشار P برابر است با:

$$w = Q \times P$$

w توان مورد نیاز برای تأمین جریان هوا (وات) Q دبی هوای ورودی به سیلندر (متر مکعب بر ثانیه)

P فشار سیال وارد شده به سیلندر (پاسکال)

نکته‌ی مهم: در رابطه‌ی توان، دبی هوای ورودی به سیلندر، از روابطی که در بالا گفته شد به دست می‌آید.

نکته‌ی مهم: رابطه‌ی بالا، تنها توانی است که کمپرسور باید مصرف کند تا سیلندر را به کار بیندازد. در عمل، توان مصرفی کمپرسور بیشتر از این است زیرا مسائل دیگری مانند افت فشار، نشتی و . . . هم وجود دارد. حتی چند سیلندر ممکن است در شبکه وجود داشته باشد که کمپرسور باید توان مورد نیاز برای تمام آن‌ها را تأمین کند.

****

مثال: در مثال قبل، کمپرسور باید چه توانی مصرف کند تا بتواند سیلندر را در شرایط مطرح شده، به کار بیندازد؟

پاسخ: فشار سیال ورودی به سیلندر 6bar بود و دبی آن نیز طبق فرمول‌های معرفی شده، 0.0366 مترمکعب به دست آمد لذا داریم:

$$w = Q \times P = 0.0366 \times \left(6 \times 10^5\right) = 21960W = 21.96kW$$

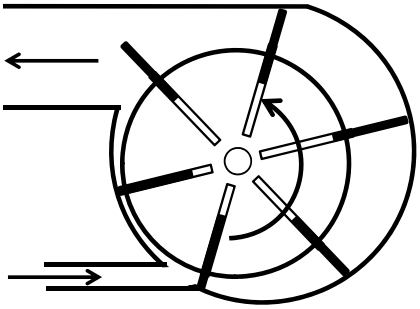
****

۲۲- موتورهای پنوماتیکی

موتورهای پنوماتیکی، انرژی هوای فشرده را به حرکت دورانی دائمی تبدیل می کنند. ساختار کلی موتورهای پنوماتیکی، شبیه به موتورهای هیدرولیکی است که در ادامه به چند نمونه از آنها اشاره می گردد.

موتورهای پره‌ای:

در این موتور، هوا از طریق کانال ورودی وارد شده و پره ها را به گردش در می آورد. ساختار این موتورف شبیه به شاختار کمپرسور چند سلولی (یا تیغه‌ای) می‌باشد.



وقتی هوا وارد یک محفظه می شود، پره ای که بیشتر از داخل استوانه‌ی داخلی بیرون آمده است، سطح تماس بیشتری با هوای فشرده دارد. لذا نیرویی که هوا بر آن وارد می کند، بیشتر از پره‌ی دیگرِ آن محفظه است. پس جهت چرخش استوانه، در جهت همان نیرویی است که بر «پره‌ی دارای سطح بیشتر با هوا»، وارد می شود.

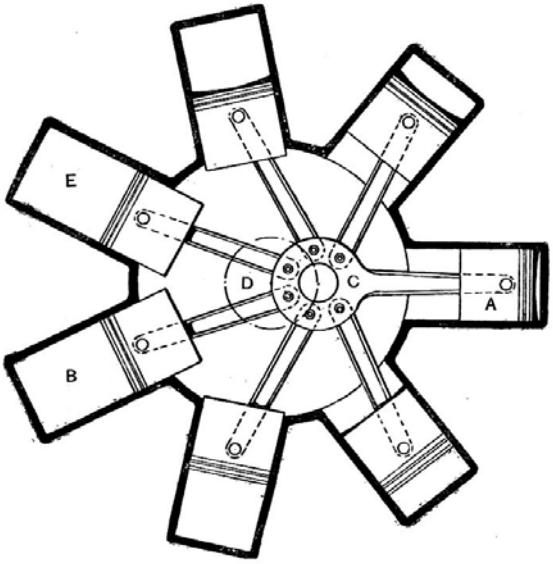
موتور چرخدنده‌ای:

ظاهر این موتور، دقیقا مانند ظاهر پمپ دنده خارجی است که در مبحث هیدرولیک بیان شد. سیال پرفشار از ورودی موتور، وارد شده و با عبور از بین چرخدنده ها، باعث چرخش آن ها می‌شود. موتورهای چرخ دنده ای می توانند در دو جهت حرکت

تولید کنند، زیرا دو چرخدنده‌ی این موتور، در دو جهت مخالف هم می چرخند و در هر جهتی که حرکت را بخواهیم، کافی است محور را به همان چرخدنده وصل کنیم. می توان همزمان از هر دو چرخدنده هم حرکت گرفت.

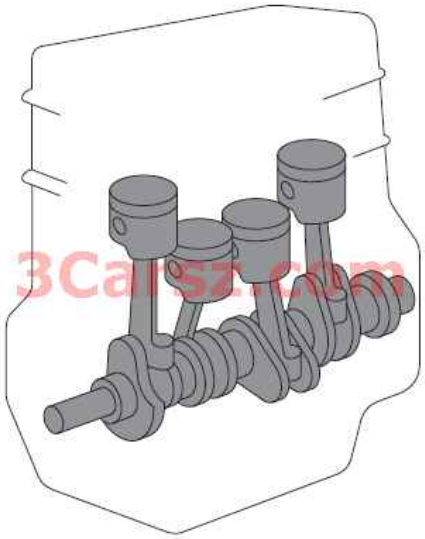
موتور پیستونی شعاعی یا دوار:

این موتور چند سیلندر و پیستون به آرایش شعاعی دارد که با چرخش آنها، میل لنگ که در وسط قرار دارد، حرکت دورانی می گیرد. ساختار این موتور، بسیار شبیه به موتور اتومبیل است.



موتور پیستونی موازی:

این موتور چند سیلندر و پیستون به آرایش موازی دارد که با چرخش آنها، میل لنگ که در وسط قرار دارد، حرکت دورانی می گیرد. ساختار این موتور، همان ساختار موتور اتومبیل است.

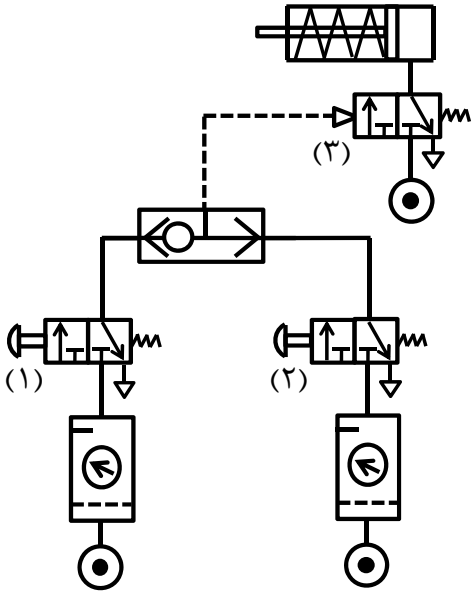


۲۳- مدارهای پنوماتیکی

مدار پنوماتیکی، نقشه ای است که به کمک آن می توان روند کار سیستم پنوماتیک و اجزای آن را شناخت. اصول مدارهای هیدرولیکی و پنوماتیکی کاملاً شبیه به هم بوده و صرفاً نمادهای آنها اندکی تفاوت می کند. در ادمه، چند نمونه از مدارهای پنوماتیکی را بررسی می نماییم.

****

مثال ۱ (مدارهای پنوماتیکی): حالت های مختلف مدار روبرو را تحلیل نمایید.



پاسخ: ابتدا نمادهای جدید این مدار را معرفی می‌کنیم:

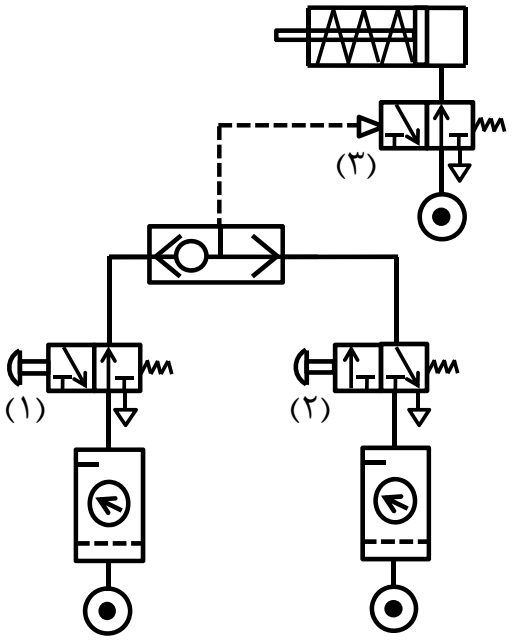
منبع فشار (اتصال به خط لوله‌ی اصلی هوای فشرده)

واحد مراقبت (آماده سازی هوا)

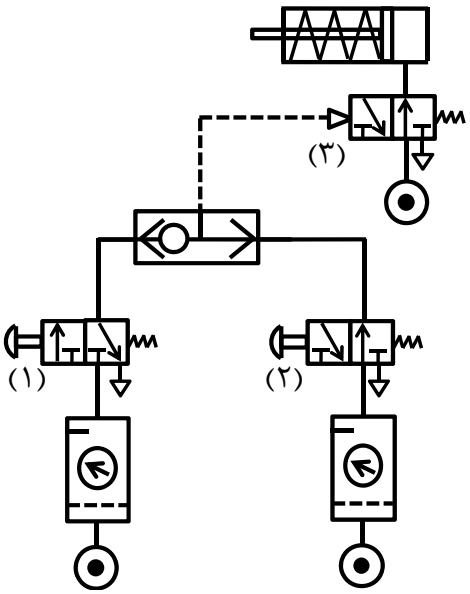
شیر OR (یا)

حالت اول: حالتی که شیر ۱ و ۲ بسته باشند. در این حالت، هیچ جریانی شکل نمی گیرد و سیلندر خاموش است (شکل این حالت در صورت سؤال وجود دارد).

حالت دوم: حالتی که شیر ۱ باز و شیر ۲ بسته باشد. در این حالت، جریان از طریق شیر OR به تحریک کننده‌ی شیر ۳ رسیده و شیر ۳ باز می شود. لذا هوای فشرده وارد سیلندر شده و سیلندر کار خود را انجام می دهد. در این حالت مدار به صورت شکل زیر قرار خواهد گرفت.



حالت سوم: حالتی که شیر ۲ باز و شیر ۱ بسته باشد. در این حالت، جریان از طریق شیر OR به تحریک کننده‌ی شیر ۳ رسیده و شیر ۳ باز می شود. لذا هوای فشرده وارد سیلندر شده و سیلندر کار خود را انجام می دهد. در این حالت مدار به صورت شکل زیر قرار خواهد گرفت.

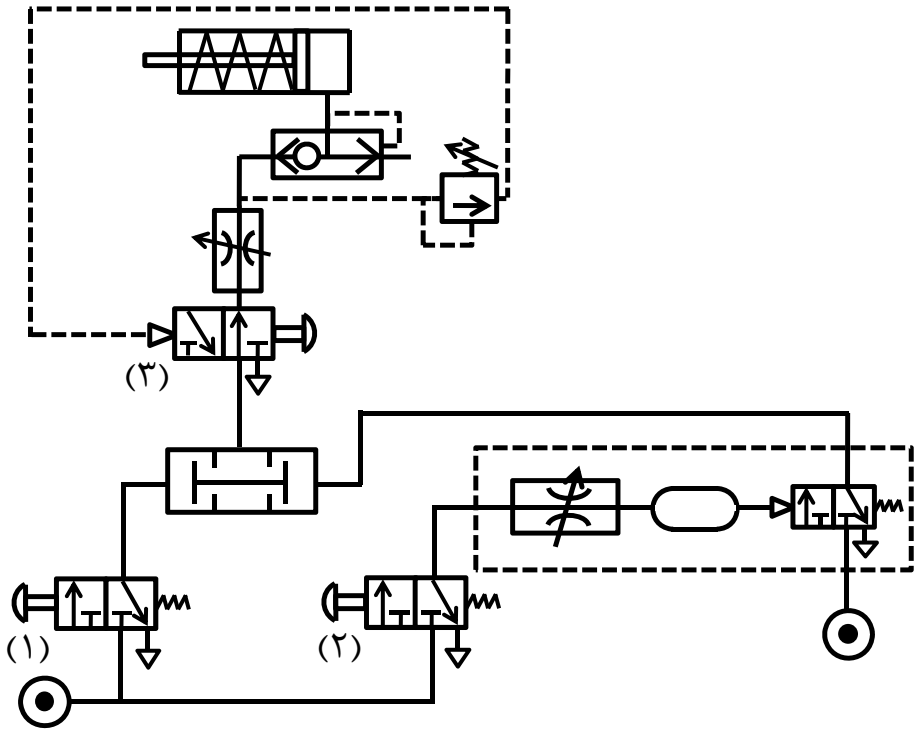


حالت‌های مدار فوق توضیح داده شد و حل مثال به پایان رسید. حال ممکن است این سؤال پیش بیاید که در مدار بالا، شیر OR چه نقشی دارد؟ پاسخ: این دستگاه طوری طراحی شده است که دو کاربر بتوانند از دو مکان مختلف سیلندر را فعال کنند (یک نفر از طریق شیر ۱ و یک نفر از طریق شیر ۲).

****

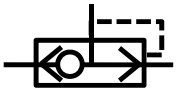
****

مثال ۲ (مدارهای پنوماتیکی): حالت های مختلف مدار را تحلیل کنید.



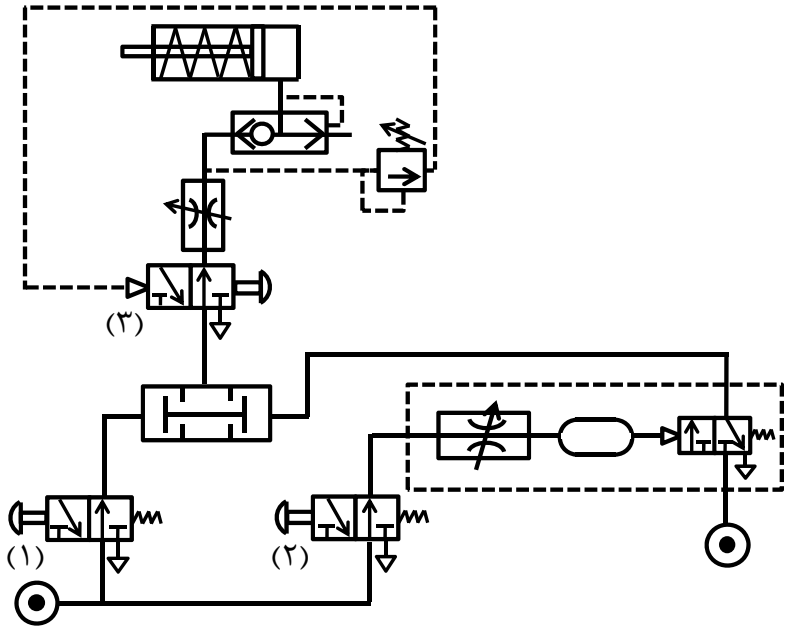
پاسخ: ابتدا نمادهای جدید این مدار را معرفی می‌کنیم.

شیر اطمینان ساده


شیر تخلیه سریع

شیر کنترل دبی

حالت اول: حالتی که یکی از شیرهای ۱ یا ۲ و یا هر دوی آنها، بسته باشند. در این حالت هیچ جریانی از شیر AND عبور نکرده و لذا سیلندر هم خاموش خواهد بود (شکل این حالت در صورت سؤال وجود دارد).
حالت دوم: حالتی که هر دو شیر ۱ و ۲ باز باشد. در این حالت، از لحظه ای که شیر ۲ باز می شود، جریان با یک تأخیر زمانی به شیر AND رسیده و اگر شیر ۱ نیز باز باشد، جریان از شیر AND عبور می کند. شیر ۳ نیز «حالت عادی باز» است و جریان از آن عبور کرده و وارد سیلندر می شود و سیلندر کار خود را انجام می‌دهد. شکل مدار در این حالت به صورت زیر خواهد شد:



ادامه‌ی توضیحات حالت دوم: وقتی سیلندر به انتها رسیده و ساکن شود، فشار در خط لوله زیاد شده و شیر اطمینان ساده باز می‌شود. جریان پرفشار به تحریک کننده‌ی سمت چپ شیر ۳ رسیده و شیر را به حالت بسته می‌برد (هوای داخل سیلندر نیز از طریق شیر تخلیه‌ی سریع، به بیرون تخلیه میشود). حال اگر دکمه‌ی فشاری شیر ۳ فشار داده شود، این شیر باز شده و مجددا سیستم شروع به کار میکند. یعنی هوای فشرده وارد سیلندر شده و روند قبلی تکرار میشود. یعنی از این لحظه به بعد، روشن کردن سیلندر با دکمه‌ی شیر ۳ انجام می‌شود و فشار دادن هم‌زمان دکمه‌ی شیرهای ۱ و ۲، صرفاً برای راه‌اندازی اولیه‌ی مدار است.

****

۲۴- دیاگرام فرمان (کاربرد در مدارهای هیدرولیکی و پنوماتیکی)

دیاگرام فرمان، نموداری است که نشان می دهد، هر یک از شیرها در مدار هیدرولیکی یا پنوماتیکی، چگونه و به چه ترتیبی عمل می کنند. برای هر شیر، دو خط افقی می کشیم که نشان دهنده‌ی حالت «باز» و «بسته» برای شیر است.
چند خط عمودی هم به تعداد حالت های موجود در مدار می کشیم.

	حالت ۱	حالت ۲	حالت ۳	حالت ۴
۱ (باز)				
شیر A				
۰ (بسته)				

ادامه‌ی روند را با یک مثال توضیح می دهیم.

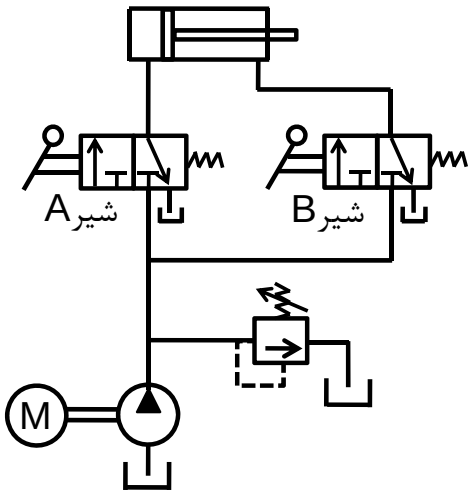
****

مثال ۱ (دیاگرام فرمان): یک مدار هیدرولیکی به صورت زیر موجود است. حالت های کاری این مدار به صورت زیر است:

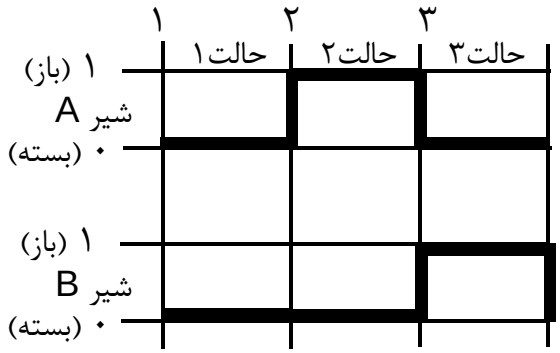
حالت ۱: هر دو شیر بسته هستند (حالت عادی). حالت ۲: شیر A باز و شیر B بسته است.

حالت ۳: شیر B باز و شیر A بسته است.

دیاگرام فرمان این مدار را رسم نمایید.



پاسخ: دو شیر داریم پس باید برای هر شیر دو خط افقی رسم کنیم. مدار هم سه حالت دارد؛ پس سه خط عمودی هم رسم می کنیم. شکل دیاگرام فرمان به صورت زیر است. حال در هر حالت، اگر شیری بسته است، یک خط پررنگ در خط افقی مربوط به حالت باز می‌کشیم و اگر شیر بسته است، یک خط پر رنگ در خط افقی مربوط به حالت بسته می‌کشیم. پس دیاگرام فرمان مدار بالا به صورت زیر می‌شود:

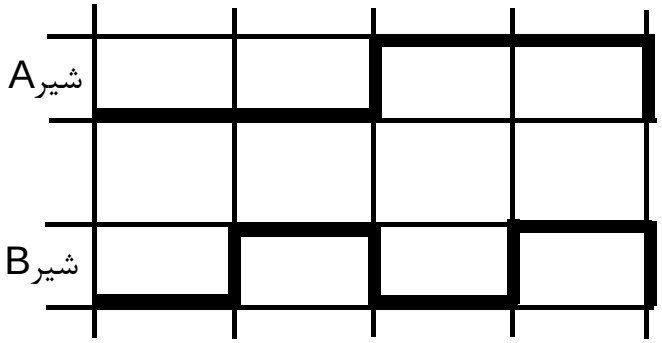


دیاگرام بالا، نشان می دهد که در هر یک از حالت های مدار، هر یک از شیرها در چه وضعیتی قرار دارد.

****

****

مثال ۲ (دیاگرام فرمان): دیاگرام فرمان یک مدار به صورت زیر است. وضعیت باز یا بسته بودن شیرها در هر یک از حالت‌های مختلف مدار را بیان نمایید.



پاسخ: این مدار چهار حالت به صورت زیر دارد:

حالت ۱: شیر A و B بسته است. حالت ۲: شیر A بسته و شیر B باز است.

حالت ۳: شیر A باز و شیر B بسته است. حالت ۴: شیر A و B باز است.

****

نکته‌ی مهم: پس دیاگرام فرمان کمک می کند که حالت های مختلف کار مدار را دریابیم. اگر یک مدار هیدرولیکی یا پنوماتیکی به همراه دیاگرام فرمان آن مدار را به ما بدهند، می‌توانیم تمام جزئیات عملکرد مدار را از روی همان مدار و دیاگرام فرمان آن، تشخیص دهیم.

۲۵- نکات ایمنی در سیستم‌های پنوماتیکی

در سیستم های پنوماتیک، اجزای مختلفی وجود دارند که به منظور ایمن سازی استفاده می شوند. برخی از این اجزا که در این درس، تدریس شده است، عبارتند از:

- ✓ شیر کاهنده‌ی فشار (رگولاتور فشار): شیری است که در هنگام افزایش فشار، فشار را کاهش می دهد.
- ✓ شیر اطمینان ساده: که اگر فشار از حد مشخصی بیشتر باشد، مسیر را باز می کند.
- ✓ کمپرسور دیافراگمی: که تفاوت آن با کمپرسور پیستونی این است که کمپرسور دیافراگمی، مانع ورود روغنِ پیستون، به هوای فشرده می‌شود و در صنایع بداشتی و داروسازی که مسائل بهداشتی اهمیت بالایی دارد، کاربرد دارد.
- ✓ شیر AND: که اگر هم از مسیر ۱ و هم از مسیر ۲ جریان وارد شود، جریان از ۳ خارج می شود. در جایی کاربرد دارد که برای حرکت دادن سیلندر، حتما باید دو دکمه فشار داده شود (چون اگر سیلندر با یک دکمه حرکت کند ممکن است ناخودآگاه آن دکمه توسط کاربر فشرده شود و سیلندر عمل کند).
- ✓ شیر NOT: که مسیر را باز نگه می دارد و اگر یک فرمان به آن برسد، مسیر را می بندد.
- ✓ تایمر زمانی: که یک عمل خاص را با تأخیر زمانی مشخصی انجام می دهد.
- ✓ بلوک ایمنی یا ZSB: که اگر جریان از مسیر ۱ و مسیر ۲ با اختلاف زمانی کمتر از مثلاً نیم ثانیه به این بلوک برسد، جریان خروجی برقرار خواهد شد که کاربردی همانند شیر AND دارد (منتها امنیت آن بیشتر است).

یک سری نکات ایمنی در مورد سیستم های پنوماتیکی وجود دارد که در ادامه ذکر می شود:

- ✓ هوای فشرده انرژی زیادی داشته و در صورت برخورد به بدن جراحت زیادی ایجاد می کند.
- ✓ هوای خروجی از سیستم های پنوماتیک دارای روغن و ذرات معلق است، لذا مراقب چشمان خود باشید.
- ✓ قبل از روشن کردن منبع تولید هوای فشرده (کمپرسور)، باید مطمئن شوید که در سیستم پنوماتیک، قسمت معیوب یا لوله‌ی رها شده و نشتی دار وجود نداشته باشد.
- ✓ سیلندرها، نیرو و سرعت بالایی دارند، لذا کاملا مراقب باشید.
- ✓ بر روی کمپرسور هوا، کلید مستقیم نصب شود که در مواقع خطر یا نشتی، سریع بتوان آن را خاموش کرد.
- ✓ سیستم پنوماتیک را روی فشاری بیشتر از حدأکثر فشاری که در راهنمای سیستم آمده است تنظیم نکنید.
- ✓ لوله ها را در حین تحت فشار بودن، از سیستم جدا نکنید.
- ✓ قبل از شروع تعمیرات یک دستگاه پنوماتیک، فشار هوا را صفر کنید.

یک سری نکات ایمنی عمومی برای اکثر محیط های صنعتی وجود دارد که در ادامه ذکر می شود:

- ✓ پوشیدن لباس دو تکه یا یکسره
- ✓ آستین پیراهن یا لباس کار را بالا زده و تا کنید.
- ✓ پوشیدن شال گردن و امثال اینها در محیط کار صنعتی خطرناک است.
- ✓ ابزار نوک تیز و برنده را به صورتی جابجا کنید که نوکِ تیز آن به سمت پایین باشد.

- ✓ قبل از روشن کردن هر دستگاه، راهنمای آن را خوانده و با فرد با تجربه مشورت کنید.
- ✓ محیط کار را تمیز و خشک نگه دارید (زمینِ خیس و لغزنده خیلی خطرناک است).
- ✓ پارچه هایی که روغنی هستند می توانند خطر آتش سوزی داشته باشند.
- ✓ هر دستگاه، محدوده های کاری مجازی دارد که توسط سازنده‌ی آن تعیین می شود. دستگاه را از محدوده های مجاز خارج نکنید.
- ✓ از قرار دادن ابزارهای غیرضروری در دست یا جیب خود خودداری کرده و تا حد امکان از جعبه ابزار استفاده کنید.

مراجع

۱- حمیدرضا رستمی، «آموزش مهارت هیدرولیک و پنوماتیک»، ناشر: جهان نو – ادبستان، ۱۳۸۶.

۲- Thomas Krist، مترجم: حسین بیرانوند، «هیدرولیک صنعتی پیشرفته»، نشر طراح، ۱۳۸۵.

۳- فاکس و همکاران، «مقدمه‌ای بر مکانیک سیالات»، مترجم: بهرام پوستی.

در تهیه‌ی این جزوه، علاوه بر مراجع بالا، از سایت‌های اینترنتی متعددی نیز استفاده شده است.

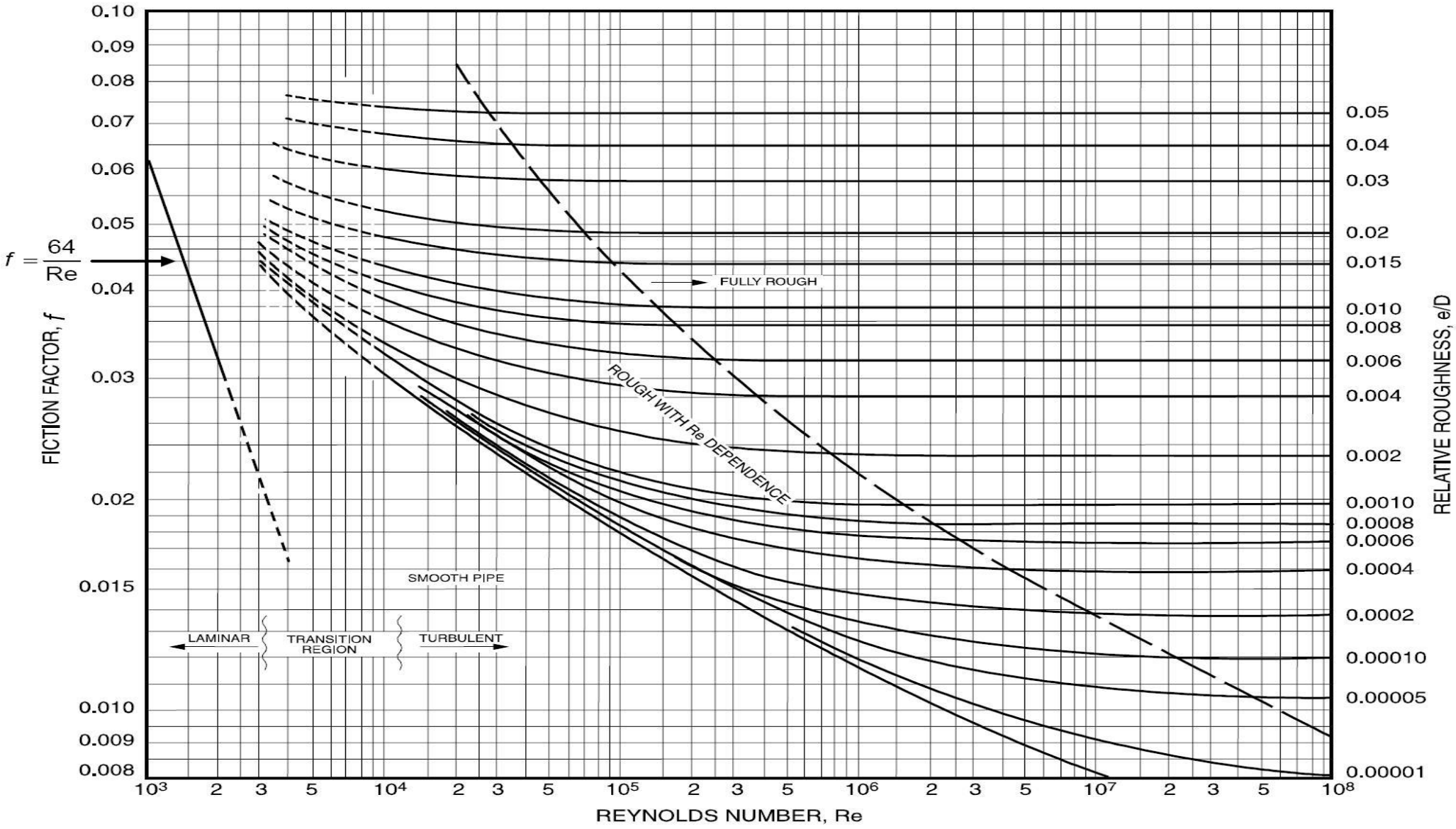
****

پیامبر عظیم‌الشأن اسلام (ص):

بیش‌ترین چیزی که مردم را وارد بهشت می‌کند، اخلاق خوش و تقوای خداست.

****

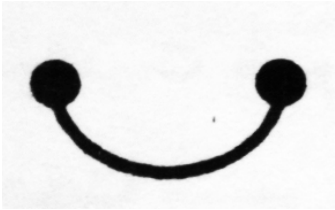
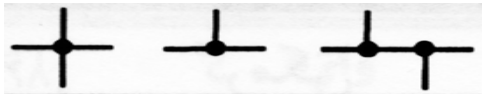
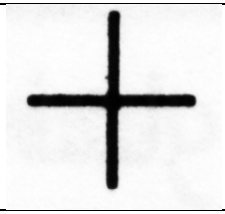
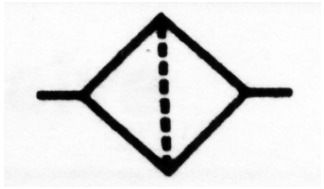
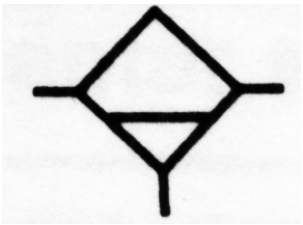
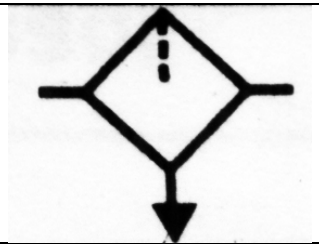
ضمیمه‌ی ۱: دیاگرام مودی

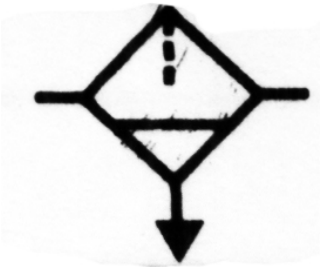
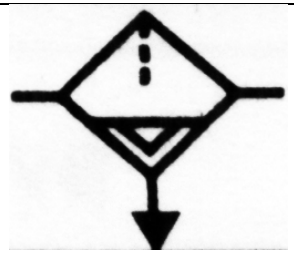
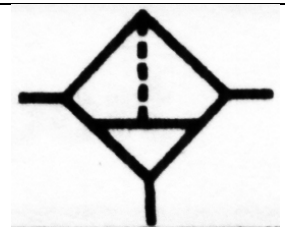
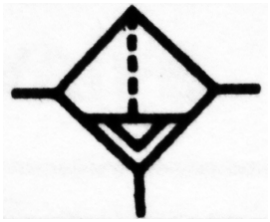
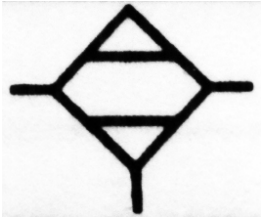
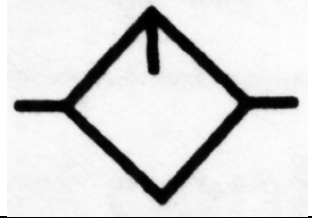
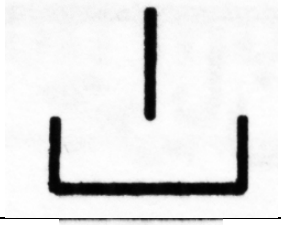
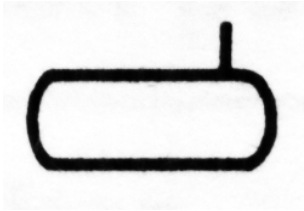
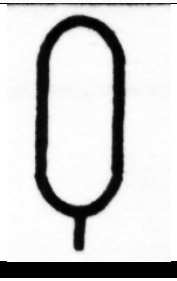
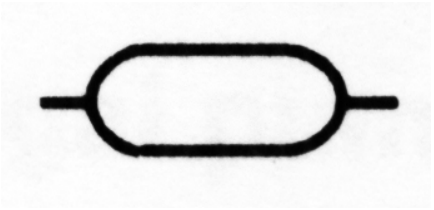


ضمیمه‌ی ۲: نماد اجزای مختلف سیستم‌های هیدرولیکی و پنوماتیکی

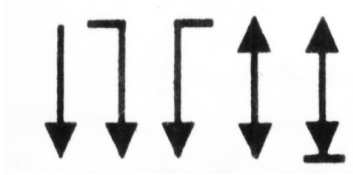
نماد اجزای مختلف سیستم‌های هیدرولیکی و پنوماتیکی در ادامه آمده است.

اجزای انتقال و ذخیره‌ی انرژی

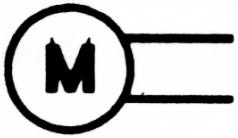
نماد	قسمت مربوطه	نماد	قسمت مربوطه
	خط جریان یا خط کار (نشان‌دهنده‌ی مسیر انتقال سیال می‌باشد)		خط جریان نشتی (نشان‌دهنده‌ی مسیر انتقال روغن‌های نشت کرده‌ی سیستم)
	شیلنگ لاستیکی یا خرطومی که قابلیت جمع شدن را دارد (برای انتقال سیال استفاده می‌شود). جهت استفاده در سیستم‌هایی که به دلیل حرکت و لغزش نتوان از لوله استفاده کرد.		اتصالات خطوط لوله (نشان‌دهنده‌ی انواع اتصالات سه راه، زانویی و چهار راه)
	برخورد خطوط انتقال سیال		فیلتر - صافی
	مخزن آبگیر با تخلیه‌ی دستی		جدا کننده (فیلتر و صافی)

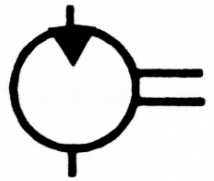
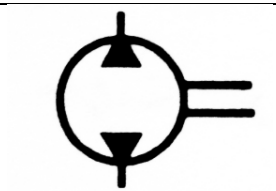
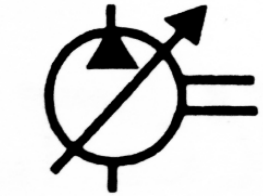
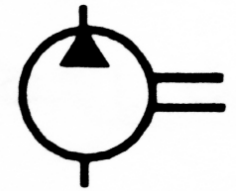
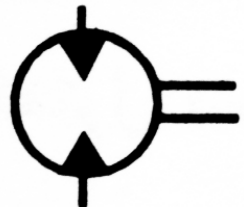
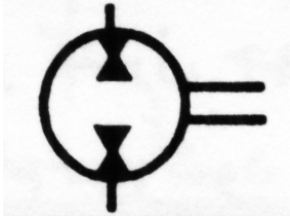
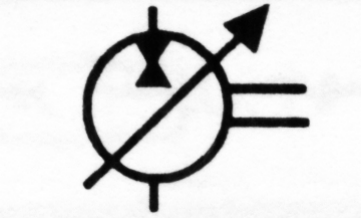
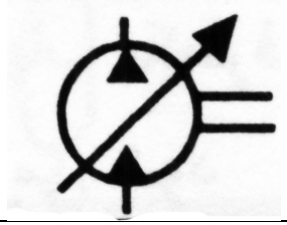
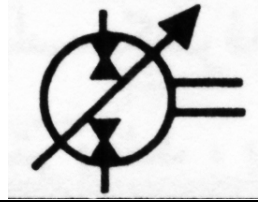
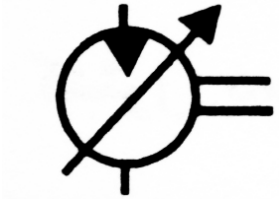
جدا کننده (فیلتر - صافی) با مخزن آبگیر که به صورت دستی تخلیه می‌شود			جدا کننده با مخزن آبگیرکه به صورت خودکار تخلیه می‌شود
فیلتر با مخزن آبگیر که به صورت دستی تخلیه می‌شود			فیلتر با مخزن آبگیر که به صورت خودکار تخلیه می‌شود
رطوبت‌گیر – خشک‌کن هوا			واحد روغن‌کاری (روغن‌پاش)
مخزن باز و یک خط جریان که در بالای سطح سیال قرار دارد			مخزن تحت فشار و یک خط جریان که در بالای سطح سیال قرار دارد
انباره‌ی هیدرولیکی			انباره‌ی پنوماتیک - مخزن و تانک فشار

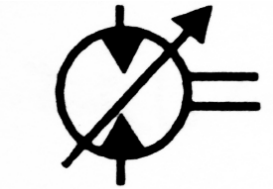
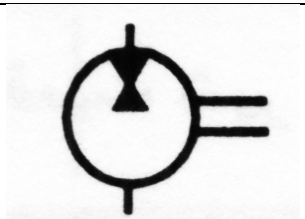
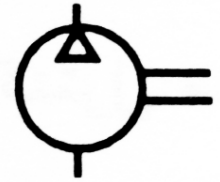
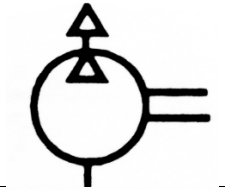
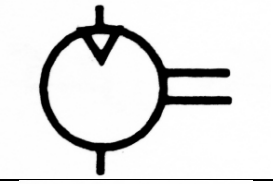
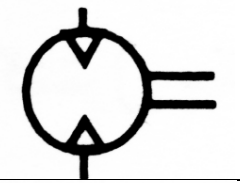
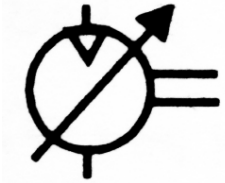
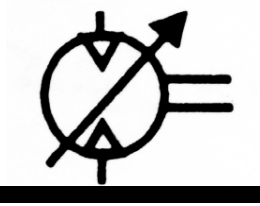
نمادهای کار

نماد	قسمت مربوطه	نماد	قسمت مربوطه
	جهت جریان هیدرولیکی		جهت جریان پنوماتیکی و یا تخلیه به محیط آزاد
	مسیر و جهت جریان در شیرها (هر پیکان یک نماد منحصر به فرد است و مجموعه‌ی پیکان‌ها، یک نماد نیستند)		کنترل متغیر - قابلیت تنظیم. مثلاً وقتی این نماد در کنار نماد شیر کنترل دبی بیاید، یعنی شیر کنترل دبی قابل تنظیم دارد (که توسط آن می‌توان دبی را به دلخواه تنظیم کرد)

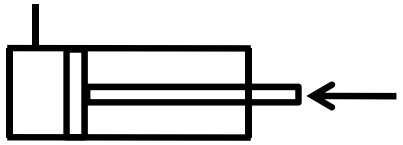
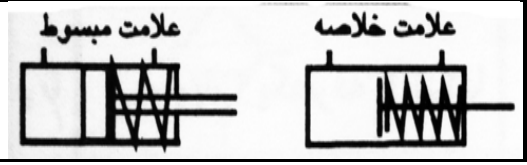
پمپ، کمپرسور، موتور

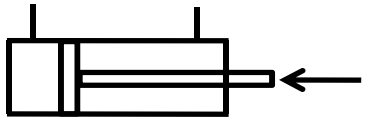
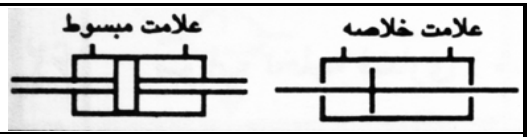
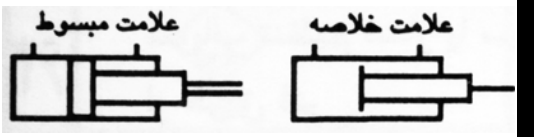
نماد	قسمت مربوطه	نماد	قسمت مربوطه
	محرکه‌ی دورانی هیدرولیکی		محرکه‌ی دورانی پنوماتیکی
	موتور الکتریکی		موتور حرارتی

موتور هیدرولیکی جابجایی ثابت یک جهته			پمپ هیدرولیکی جابجایی ثابت دو جهته
پمپ هیدرولیکی جابجایی متغیر یک جهته			پمپ هیدرولیکی جابجایی ثابت با یک جهت جریان
موتور هیدرولیکی جابجایی ثابت			موتور هیدرولیکی جابجایی ثابت دو جهته
موتور هیدرولیکی جابجایی متغیر			موتور هیدرولیکی جابجایی متغیر و یک جهت جریان
موتور هیدرولیکی جابجایی متغیر دو جهته			موتور هیدرولیکی جابجایی متغیر یک جهته

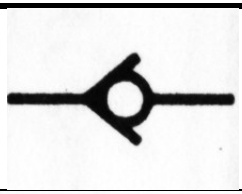
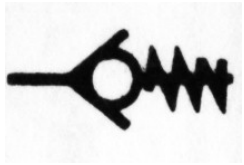
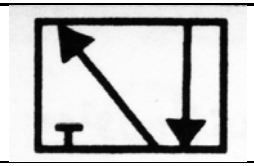
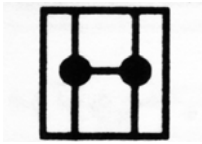
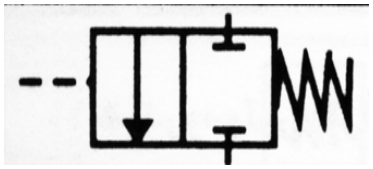
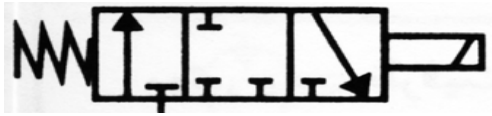
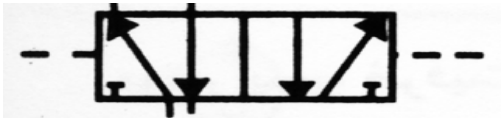
	موتور هیدرولیکی جابجایی متغیر دو جهته		موتور هیدرولیکی جابجایی ثابت یک جهته
	کمپرسور با جابجایی ثابت		پمپ مکش
	موتور پنوماتیکی جابجایی ثابت یک جهته		موتور پنوماتیکی جابجایی ثابت دو جهته
	موتور پنوماتیکی جابجایی متغیر یک جهته		موتور پنوماتیکی جابجایی متغیر دو جهته

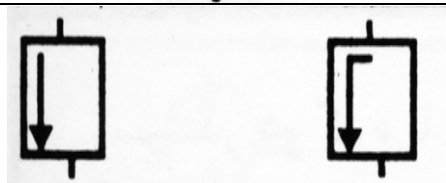
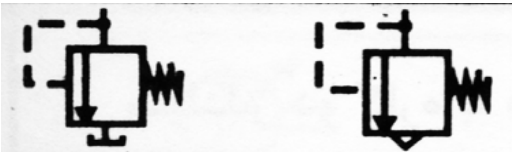
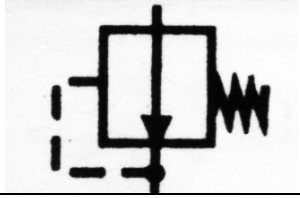
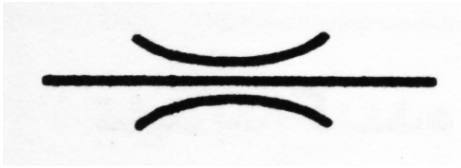
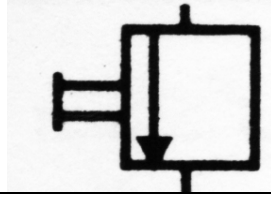
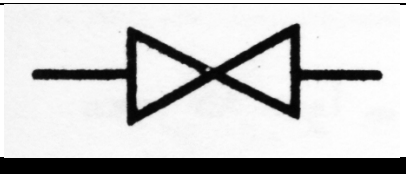
سیلندرها

نماد	قسمت مربوطه	نماد	قسمت مربوطه
	سیلندر یک کاره.کورس برگشت به وسیله‌ی نیروی خارجی است.		سیلندر یک کاره.کورس برگشت، به وسیله‌ی فنر انجام می‌شود.

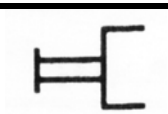
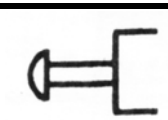
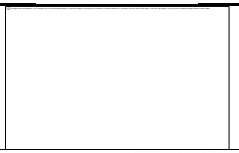
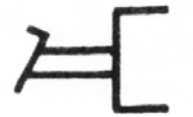
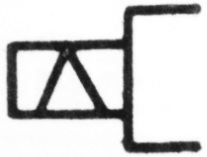
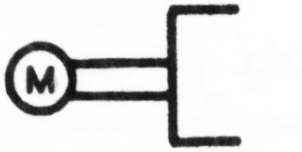
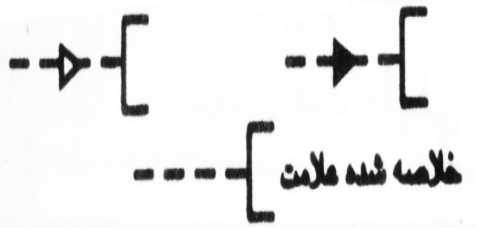
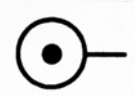
	سیلندر دو کاره با دسته‌ی پیستون یک طرفه		سیلندر دو کاره با دسته‌ی پیستون دو طرفه
	سیلندر تفاضلی		

شیرها

نماد	قسمت مربوطه	نماد	قسمت مربوطه
	شیر یک طرفه		شیر یک طرفه با فنر
	موقعیت شیر با دو مسیر آزاد که جهت هر مسیر مخالف مسیر دیگر است.		موقعیت شیر با دو مسیر جریان و یک گذرگاه بسته
	موقعیت شیر با مسیر جریان که با یکدیگر تقاطع دارند		شیر کنترل جهت جریان ۲/۲ کنترل آن با اعمال فشار روی فنر برگشت صورت می‌گیرد.
	شیر کنترل جهت جریان ۳/۳ کنترل آن توسط یک سولونوئید انجام می‌شود		شیر کنترل جهت جریان ۲/۵ کنترل آن با فشار صورت می‌گیرد

سوپاپ یک طرفه که اگر فشار ورودی بیش از فشار خروجی باشد باز می‌شود			سوپاپ یک طرفه‌ی فنردار که اگر فشار ورودی از فشار خروجی به اضافه‌ی نیروی فنر، بیشتر باشد، باز می‌شود
سوپاپ یکطرفه‌ای که در مقابل وجود اختلاف فشار معینی بسته می‌شود			سوپاپ یک طرفه با تنگنا
سوپاپ کنترل فشاری که دارای یک تنگه‌ی خفه کننده می‌باشد. این تنگه بطور عادی بسته است.			سوپاپ تخلیه‌ی فشاری (شیر اطمینان)
سوپاپ تنظیم فشار یا سوپاپ کاهنده‌ی فشار بدون گذرگاه فرار. کنترل از طریق فنر.			تنگنا - مقاومت
شیر خفگی که به طور دستی کنترل می‌شود			شیر خفگی که به طور دستی کنترل می‌شود
شیر قطع و وصل			

کنترل‌ها

نماد	قسمت مربوطه	نماد	قسمت مربوطه
	کنترل دستی بدون تعین نوع آن		کنترل دستی با دکمه‌ی فشاری
	کنترل دستی به وسیله‌ی اهرم		کنترل دستی به وسیله‌ی پدال
	کنترل مکانیکی به وسیله‌ی فنر		کنترل مکانیکی به وسیله‌ی غلطک
	کنترل به وسیله‌ی سولونوئیدِ دو سیم‌پیچه (که سیم‌پیچ‌ها خلاف جهت یکدیگر عمل می‌کنند)		کنترل به وسیله‌ی موتور الکتریکی
	کنترل مستقیم به وسیله‌ی اعمال فشار		مسیرهای کنترل داخلی
	منبع فشار		

منبع: http://tarahansanat.persianblog.ir/post/13

ضمیمه‌ی ۳: اصول عیب‌یابی سیستم‌های هیدرولیکی

نمونه‌ی عیب‌های هیدرولیکی در ادامه، با شماره‌هایی مشخص شده است:

جدول شماره‌ی عیب‌ها

شماره عیب	عیب مربوطه	شماره عیب	عیب مربوطه
۱	عدم کار کردن موتور هیدرولیکی	۲	عکس شدن جهت دورانِ محور موتور هیدرولیکی
۳	کند شدن دور موتور هیدرولیکی	۴	عدم کنترل دقیق هیدرو موتور
۵	عدم شروع به کار (استارت) راحت پمپ هیدرولیک	۶	صدای زیاد پمپ
۷	دهش (میزان دبی خروجی) خیلی کم توسط پمپ	۸	عدم اجرای ترتیبی عملیات کنترلی
۹	عدم مشخص شدن فشار روی مانومتر	۱۰	قفل شدن شیر
۱۱	لرزش شدید	۱۲	کار نکردن شیر چند راهه‌ی برقی (سولونوئیدی)
۱۳	نفوذ هوا به درون سیال هیدرولیک	۱۴	نشتی
۱۵	افت فشار روغن		

دلایل ایجاد هر یک از عیب‌های بالا، در جدول صفحه‌ی بعد آمده است.
به مثال زیر دقت نمایید:

مثال: فرض کنید در یک سیستم هیدرولیک، صدای زیادی توسط پمپ ایجاد می‌شود. عیب این سیستم چگونه است:

پاسخ: ابتدا به جدول شماره‌ی عیب‌ها مراجعه می‌کنیم و شماره‌ی عیب مورد نظر را می‌خوانیم. شماره‌ی این عیب **۶** می‌باشد. حال به جدول دلایل عیب‌ها که در صفحه‌ی بعد آمده، می‌رویم. در این جدول به ستون دارای شماره‌ی ۶ دقت می‌کنیم. مشاهده می‌شود که سه دلیل وجود دارند که باعث ایجاد عیب شماره‌ی ۶ می‌شوند. این سه دلیل عبارتند از:

- ✓ وجود هوا در چرخه‌ی هیدرولیک (لوله‌ها و . . .)
- ✓ فشار خیلی کمِ روغن
- ✓ مسدود شدن خط رانش

** همانند مثال فوق، می‌توان سیستم‌های هیدرولیک را عیب‌یابی نمود. البته این روش، در حد یک تخمین اولیه و یک سر نخ برای شناسایی عیب است و مطمئناً شناخت دقیق و برطرف‌سازی یک عیب، مستلزم دقت و مطالعه‌ی کافی می‌باشد.

جدول دلایل عیب‌ها

دلایل ایجاد عیب	شمـــــــاره‌ی عیب														
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
مخزن روغن، تا علامت مشخص شده پر نیست	■	■											■		
لزجت روغن خیلی بالاست			■												
وجود هوا در چرخه‌ی هیدرولیک (لوله‌ها و . . .)		■		■		■		■			■				
نشت‌دار بودن خط لوله‌ی متعادل کننده		■	■	■									■	■	
نشت‌دار بودن خط رانش (برای روغن)				■										■	
فشار خیلی کمِ روغن						■			■						
مسدود شدن خط رانش	■	■			■	■			■						
نشتی آب‌بندها				■			■							■	■
نشت‌دار بودن پیستون (سیلندرها)	■						■						■	■	■
جدا شدن پیستون از دسته پیستون	■														
گیر کردن پیستون درون سیلندر					■							■			
گیر کردن پیستون شیر				■						■					■
نشت‌دار بودن پیستون کنترل														■	■
خستگی فنر شیر				■					■	■	■				■
شکستگی فنر شیر									■						■
نشت‌دار بودن پیستون شیر									■	■					
خراب شدن سیلندرِ (سوراخ) شیر چندراهه				■					■		■				
قفل شدن شیر	■		■												
ولتاژ برقی خیلی کم				■				■				■			
خرابی پمپ					■										
تنظیم (ضربات) بادامک‌ها								■							
معیوب بودن ساز و کار برنامه‌دهنده								■							
معیوب بودن سیم‌های برقی					■							■			
پیستون یا سیلندر، استوانه‌ای نیستند (یعنی دارای مقطع دایروی نمی‌باشند)												■			

منبع: کتاب «هیدرولیک صنعتی پیشرفته و کنترل‌های هیدرولیکی»، نگارنده: توماس کریست، مترجم: حسین بیرانوند، ناشر: نشر طراح.