دانشکده فنی و حرفه‌ای محمودآباد

هیدرولیک و پنوماتیک

گردآورنده: محمد شکری

مطابق با سرفصل‌های درس «هیدرولیک و پنوماتیک» رشته الکتروتکنیک- برق صنعتی دوره کاردانی دانشگاه‌های فنی و حرفه‌ای
مصوب چهل و دوم جلسه شورای برنامه ریزی آموزشی و درسی علمی- کاربردی مورخ ۱۳۸۳/۱۰/۱۲

نسخه: ۱۳۹۷۲- ۰.۰

۱- اتوماسیون

تعریف اتوماسیون:

اتوماسیون به زبان ساده یعنی خودکار سازی فرایندهای تولید که به‌وسیله کامپیوترهای قابل‌برنامه‌ریزی مانند plc ها و تجهیزاتی که به plc ها متصل می‌شوند صورت می گیرد.

اتوماسیون یک گام فراتر از مکانیزاسیون است. در مکانیزاسیون از مجموعه‌ای از تجهیزات مکانیکی استفاده می‌شود که برای انجام فعالیت موردنظر، نیاز به کمک انسان خواهند داشت. اما از سوی دیگر اتوماسیون نقش انسان را در انجام فرآیند حذف کرده و آن را با برنامه‌ریزی‌های منطقی و دستگاه‌های هوشمند جایگزین کرده است. در اتوماسیون صنعتی، کامپیوتر و ماشین به‌جای انسان تفکر و تصمیم گیری خواهند کرد.

مزایای اتوماسیون:

- افزایش تولید
- کاهش هزینه اپراتوری
- رفع مشکل کمبود نیروی متخصص
- انتقال نیروی کار به سمت کارهای خدماتی
- بهبود ایمنی: جایگزین شدن با انسان‌ها در انجام کارهایی است که باید در محیط‌های خطرناک انجام شود (یعنی آتش، فضا، آتش‌فشان، تأسیسات هسته‌ای، زیر آب، و غیره)
- افزایش کیفیت کالا
- کاهش زمان تولید
- کاهش انبارهای موقت
- تکرارپذیری
- کنترل کیفیت دقیق‌تر
- کاهش پسماندها (ضایعات)
- بهره‌وری بالا و کاهش فشار کار
- جایگزینی اپراتورهای انسانی در انجام وظایف خسته‌کننده
- انجام کارهایی که فراتر از توانایی‌های بشر است، مانند حمل بارهای بسیار سنگین، اشیاء خیلی بزرگ، خیلی داغ یا خیلی سرد یا مواردی مانند چیزهایی بیش‌ازحد سریع یا بیش‌ازحد آهسته
- بهبود اقتصاد: گاهی اوقات و برخی از انواع اتوماسیون، اقتصاد سازمان‌ها، جامعه، و بسیاری از انسان‌ها را بهبود می‌بخشد؛ برای مثال، وقتی‌که تشکیلاتی اقتصادی سرمایه‌گذاری در فن‌آوری‌های اتوماسیون خود را بهبود می‌بخشد یا هنگامی‌که یک ایالت یا دولت به‌واسطه اتوماسیون درآمدها را افزایش می‌دهند (مانند آلمان یا ژاپن در قرن ۲۰ام) یا زمانی که انسان از اینترنت استفاده می‌کند، که به‌نوبه خود استفاده از ماهواره‌ها و سایر موتورهای خودکار را شامل می‌شود.

معایب اتوماسیون:

- جایگزینی انسان با دستگاه
- کاهش نیروی کار و افزایش بیکاری

- کاهش قدرت خرید به دلیل افزایش بیکاری
- هزینه‌های اولیه بالا

۲- مفهوم هیدرولیک

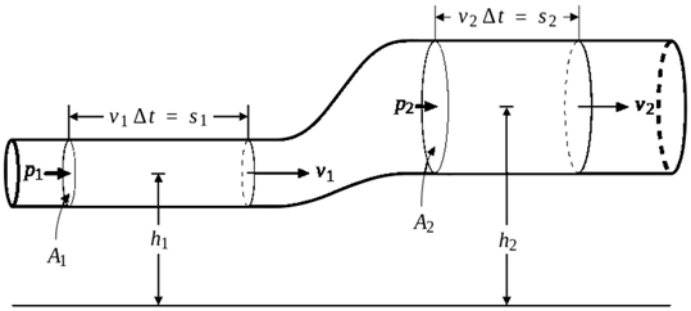
تعریف هیدرولیک

علم استفاده از مایعات جهت انتقال و کنترل و حرکت می‌باشد.

سیستم‌های هیدرولیک از سه قسمت اصلی تشکیل‌شده‌اند: ۱- واحد تأمین قدرت ۲- واحد کنترل ۳- واجد خروجی

- پایه‌ریزی قوانین اولیه هیدرولیک توسط دانشمند اروپایی به نام پاسکال در قرن ۱۷ میلادی
- در قرن ۱۹ میلادی پرس‌های هیدرولیک آبی برای اولین بار بر پایه قانون پاسکال ساخته شدند.
- در قرن ۲۰ میلادی هیدرولیک روغنی در سطح وسیعی از صنعت به کار گرفته شدند.

معادله پیوستگی



شکل ۱-۲- پیوستگی جریان سیال

در لوله نشان داده‌شده در شکل ۲-۱، نرخ حرکت سیال در مقاطع مختلف آن ثابت است. در چنین لوله‌ای معادله زیر حاکم است:

$$Q_1 = Q_2$$ معادله ۱-۲

Q= دبی سیال $(\frac{m^3}{s})$

معادله فوق در هر دونقطه ۱ و ۲ صدق می‌کند. با قرار دادن Q=v.A در معادله فوق، معادله پیوستگی حاصل می‌شود.

$$v_1.A_1 = v_2.A_2$$ معادله ۲-۲

v= سرعت سیال $(\frac{m}{s})$

A= سطح مقطع (m^2)

در سیستم‌های هیدرولیکی عموماً یک پمپ وجود دارد که باعث به جریان افتادن سیال می‌شود و شدت‌جریان ثابتی در سیستم ایجاد می‌کند. اگر فرض شود که سیال غیرقابل تراکم است، یک جریان یکنواخت ایجاد خواهد شد. بنابراین در تمام قسمت‌های سیستم (با سطح مقطع‌های مختلف) حجم ثابتی از سیال در واحد زمان عبور خواهد کرد.

❖ مثال: در نقطه ۱ از سیستم نشان داده‌شده سرعت سیال ۵ متر بر دقیقه است. قطر گذر سیال در نقطه ۱ برابر ۲۰ میلی‌متر و در نقطه ۲ برابر ۵۰ میلی‌متر است.

➢ سرعت سیال در نقطه ۲ چقدر است؟

➢ شدت‌جریان را در سیستم حساب کنید؟

✓ محاسبه سطح گذر در نقاط ۱ و ۲:

$$A_1 = \frac{\pi.D_1^2}{4} = \frac{3.14\times(0.02m)^2}{4} = 0.000314m^2$$

$$A_2 = \frac{\pi.D_2^2}{4} = \frac{3.14\times(0.05m)^2}{4} = 0.0019625m^2$$

✓ به دست آوردن v_2 :

$$v_2 = v_1.\frac{A_1}{A_2} = 5\frac{m}{min}\times\frac{0.000314m^2}{0.0019625m^2} = 0.8\frac{m}{min}$$

✓ محاسبه شدت‌جریان:

$$Q = v_1.A_1 = 5\frac{m}{min}\times(0.000314m^2) = 0.00157\frac{m^3}{min}$$

☑ نکته! در مثال فوق این نکته وجود دارد که در جریان سیال که پیوسته و یکنواخت است، کاهش سطح گذر (سطح مقطع لوله) سبب افزایش سرعت، به همان نسبت می‌شود. برعکس، اگر سطح مقطع لوله افزایش یابد، سرعت سیال به همان نسبت کاهش خواهد یافت.

قانون برنولی

قانون برنولی بیان‌کننده تعادل انرژی در یک سیستم سیالاتی است.

اگر سرعت یک سیال افزایش پیدا کند، فشاری که بر یک سطح وارد می‌کند کاهش می‌یابد و بالعکس.

رابطه برنولی، بیان‌کننده انرژی کل در یک سیستم سیالاتی با سیال غیرقابل تراکم می‌باشد. سیالات هیدرولیک تقریباً غیرقابل تراکم هستند.

انرژی در یک سیال به سه شکل ظاهر می‌شود:

انرژی پتانسیل (به‌واسطه ارتفاع سیال و نیروی جاذبه)= w.h

انرژی فشار (به‌واسطه ایجاد فشار در سیستم)= $w.\frac{\rho}{\gamma}$

انرژی جنبشی (به‌واسطه سرعت سیال)= $w.\frac{v^2}{2g}$

واحد هر سه فرم انرژی بیان‌شده در بالا برابر و معادل N.m می‌باشد.

w= وزن (N)

h= ارتفاع (m)

p= فشار (پاسکال، N/m^2)

γ= وزن مخصوص (N/m^3)

v= سرعت (m/s)

g= شتاب جاذبه ($9.8\ m/s^2$)

اگر انرژی اضافه‌ای به سیستم وارد نشود و یا هیچ انرژی از سیستم خارج نشود، بنابراین انرژی در دونقطه مختلف سیستم باید برابر باشد. به زبان ریاضی:

$$(w.h_1)+\left(w.\frac{p_1}{\gamma}\right)+\left(w.\frac{v_1^2}{2g}\right)=(w.h_2)+\left(w.\frac{p_2}{\gamma}\right)+\left(w.\frac{v_2^2}{2g}\right)$$ معادله ۳-۲

چون w در تمام جملات معادله وجود دارد، می‌توان آن را حذف کرد. بنابراین:

$$h_1+\frac{p_1}{\gamma}+\frac{v_1^2}{2g}=h_2+\frac{p_2}{\gamma}+\frac{v_2^2}{2g}$$ معادله ۴-۲

این معادله را معادله برنولی می‌گویند. واحد هر یک از جملات، در سیستم متریک، متر (m) می‌باشد. جمله اول هد ارتفاع (Elevation head)، جمله دوم هد فشار (Pressure head) و جمله سوم هد سرعت (Velocity head) می‌نامند.

❖ مثال: یک سیال با وزن مخصوص $\gamma = 8800\ N/m^3$ با شدت‌جریان ثابت ۱۰ lpm در سیستم نشان داده‌شده در شکل ۲-۱، جریان دارد. سطح گذر در نقاط ۱ و ۲ مساوی است. فشار در نقطه ۱، ۷۰۰ kPa و اختلاف ارتفاع h برابر با ۵ متر است. فشار را در نقطه ۲ تعیین کنید. (تذکر این نکته که Pa نام دیگر N/m^2 است.)

$$h_1+\frac{p_1}{\gamma}=h_2+\frac{p_2}{\gamma}$$
$$p_2=\gamma(h_1-h_2)+p_1$$
$$p_2=8800\times(-5)+700000$$
$$p_2=656000\ \frac{N}{m^2}$$

نکته ای که در مثال بالا دیده می شود این است که با افزایش ارتفاع مقطع خروجی سیال نسبت به مقطع ورودی، فشار خروجی سیال دچار افت می شود.

۳- فشار نسبی و مطلق

تعریف فشار

فشار در یک رابطه ریاضی به‌صورت حاصل تقسیم نیرو (F) بر سطح مؤثر (A) تعریف می‌شود.

$$P=\frac{F}{A}$$ معادله ۱-۳

F= نیرو ⟵ مطابق با قانون اول نیوتن، نیرو حاصل‌ضرب جرم در شتاب است.

$$F=m.a$$ معادله ۲-۳

m= جرم (kg)

a= شتاب گرانش (m/s^2) =$g=9.8\ m/s^2$

A= سطح مؤثر (m^2)

☑ نکته! فشار با نیرو رابطه مستقیم و با سطح رابطه معکوس دارد.

واحدهای فشار

بار (Bar)- پاسکال (Pa)- پوند بر اینچ مربع (psi)[1]- اتمسفر (atm)

$$1\ \text{bar} = 14.7\ \text{psi}$$

$$1\ \text{bar} = 10^5\ \text{Pa} = 100\ \text{kPa}$$

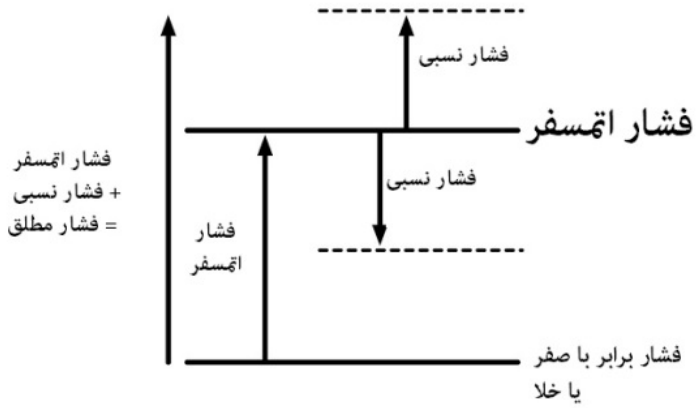
$$1\ \text{bar} = 1\ \text{kg/cm}^2$$

$$1\ \text{Pa} = 1\ \text{N/m}^2$$

$$1\ \text{atm} = 1\ \text{kPa/cm}^2$$

شناسایی فشار مطلق و فشار نسبی

کره زمین تحت‌فشار اتمسفر قرار دارد و این فشار قابل‌لمس نیست. لذا فشار اتمسفر به‌عنوان پایه قرار می‌دهیم.



شکل ۱-۳- شماتیک فشار نسبی و مطلق

همان طور که از شکل پیداست؛ فشار مطلق از جمع فشار اتمسفر و فشار نسبی به دست می آید.

در داخل یک ستون مایع، فشاری توسط وزن مایع به سطوح آن وارد می شود این فشار را فشار هیدرواستاتیک (ئیدرواستاتیک) یا فشار ثقل می نامند.

این فشار بستگی به ارتفاع ستون مایع (h)، چگالی (ρ) و شتاب ثقل (g) دارد.

$$P = \rho g h$$

معادله ۳-۳

- ❖ مثال: فشار باد یک تایر خودرو حدود 30 psi است. این فشار را بر حسب بار محاسبه کنید؟
- ✓ داریم: 14.7 psi برابر با 1 بار است بنابراین

$$\frac{14.7\ \text{psi}}{1\ \text{bar}} = \frac{30\ \text{psi}}{?}$$

$$\frac{1\ (\text{bar}) \times 30\ (\text{psi})}{14.7\ (\text{psi})} \simeq 2\ (\text{bar})$$

[1] Pounds per Square Inch

٤- پمپ

پمپ به عنوان قلب یک سیستم هیدرولیک، انرژی مکانیکی را که به وسیله موتورهای الکتریکی یا موتورهای احتراقی و... تأمین می گردد؛ به انرژی هیدرولیکی یا سیال جاری تحت فشار تبدیل می کند.

انواع پمپ های هیدرولیکی

پمپ ها بر اساس کار آنها به دو دسته کلی پمپ های دبی ثابت و پمپ های دبی متغیر تقسیم بندی می شوند. که البته منظور در یک دور ثابت می باشد.

پمپ های بکار رفته در سیستم های هیدرولیک ماشین آلات کشاورزی، راهسازی و صنعتی امروزه اغلب از نوع دبی ثابت می باشند. پمپ های دبی متغیر بگونه ای ساخته شده اند که در یک دور ثابت می چرخند ولی مقدار روغن خروجی آنها را می توان از صفر تا حداکثر (بسته به پمپ) تغییر داد. اینگونه پمپ ها دارای ساختمان پیچیده تر و قیمت بالاتری هستند و به همین دلیل فقط در موارد خاصی که احتیاج به تغییر دبی و شدت جریان های متفاوت باشد از آنها استفاده می شود.

دو نوع کلی پمپ ها عبارتند از:

پمپ های با جابجایی غیر مثبت (هیدرودینامیکی)[1]:

در این پمپ ها لقی 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. در این گونه پمپ ها با تغییر فشار تولیدی پمپ، بازده تغییر قابل ملاحظه ای می کند.

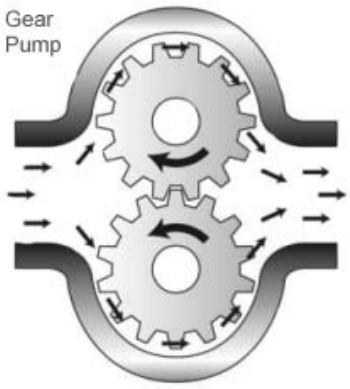
پمپ های با جابجایی مثبت[2]:

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.

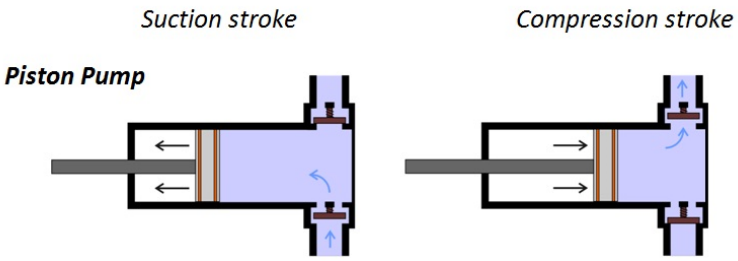
پمپ های با جابجایی مثبت به دو دسته ی زیر تقسیم می شوند:

۱- پمپ های دوار

۲- پمپ های پیستونی



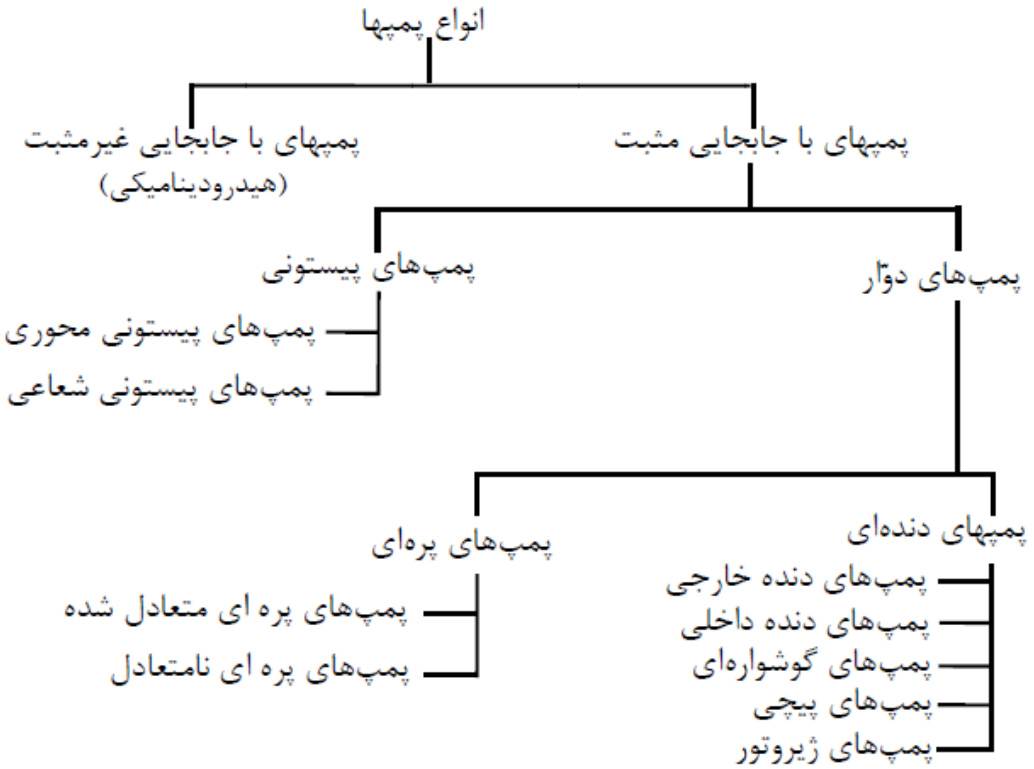
شکل ۱-۴- نمونه ای از پمپ دوار



شکل ۲-۴- نمونه ای از پمپ پیستونی

برای درک بهتر خانواده پمپ ها به دیاگرام زیر توجه کنید:

[1] Non positive displacement pumps
[2] Positive displacement pumps



محاسبات مربوط به پمپ ها

راندمان پمپ ها از ۹۰٪ در پمپ های دنده ای ارزان تا ۹۸٪ در پمپ های پیستونی پیشرفته متغیر است. در هنگام طراحی و انتخاب موتورها و پمپ های هیدرولیک برای یک سیستم باید مقدار راندمان پمپ را مشخص نمود تا بر اساس آن موتور محرکه متناسب نیز انتخاب گردد.

همه پمپ های هیدرولیک بر یک اساس عمل می کنند: در طی یک نیم سیکل اول یک خفره باز شده و سیال را به درون خود می کشد، سپس این حفره بسته شده و طی نیم سکل دوم، سیال به طرف دریچه خروجی پمپ رانده می شود. حجم سیالی که در هر سیکل از پمپ خارج می شود را **حجم جابجایی پمپ** می نامند.

یک سیکل، معمولاً در یک دور گردش شفت پمپ اتفاق می افتد. حجم جابجایی پمپ معمولاً بر حسب اینچ مکعب در هر دور گردش پمپ (in^3/rev) در سیستم آحاد آمریکایی و سانتی متر مکعب در هر دور (cm^3/rev) در سیستم آحاد متریک SI سنجیده می شود.

شدت جریان (Flow rate) پمپ عبارتست از حجم سیالی که پمپ در واحد زمان از خود خارج می کند. شدت جریان را دهش پمپ (Output یا Delivery) نیز می نامند. شدت جریان پمپ به حجم جابجایی پمپ و سرعت گردش شفت آن بستگی دارد. سرعت گردش پمپ بر حسب دور در دقیقه (rpm یا rev/min) اندازه گیری می شود. شدت جریان پمپ را می توان با ضرب کردن حجم جابجایی پمپ در سرعت گردشی آن به دست آورد.

معادله به دست آوردن شدت جریان پمپ عبارت است از:

$$Q_T = V_p.N$$ معادله ۱-۴

Q_T = شدت جریان تئوریک سیال توسط پمپ ($\frac{cm^3}{min}$ ، $\frac{in^3}{min}$)

V_p = حجم جابجایی پمپ ($\frac{cm^3}{rev}$ ، $\frac{in^3}{rev}$)

N= سرعت گردش پمپ ($\frac{rev}{min}$)

در اغلب مدارک فنی مربوط به پمپ ها، شدت جریان بر حسب گالن در دقیقه (gpm) درج می شود. با اعمال عامل تبدیل 1 gal=231 in^3 می توان این مقدار را برای راحتی حل مسئله تبدیل کرد. همچنین می دانیم که ۱ لیتر برابر ۱۰۰۰ سانتی متر مکعب است. (1 Lit= 1000 cm^3)

❖ مثال: حجم جابجایی یک پمپ $2\,in^3/min$ است که توسط یک واحد محرکه با سرعت گردشی 1200 rpm می چرخد. شدت جریان تئوریک این پمپ چقدر است؟

$$Q_T = V_p.N = 2(\frac{in^3}{rev}).1200(\frac{rev}{min}) = 2400(\frac{in^3}{min})$$

اکنون با توجه به این موضوع که اغلب جریان در پمپ ها بر حسب گالن بر دقیقه می باشد می توان تبدیل زیر را به راحتی انجام داد:

$$\frac{2400(\frac{in^3}{min})}{231(\frac{in^3}{gal})} = 10.4(\frac{gal}{min})$$

❖ مثال: در یک سیستم باید شدت جریان 8 gpm برقرار شود. اگر برای واحد محرکه این سیستم از یک الکتروموتور 1800 rpm استفاده شود، حجم جابجایی پمپ چقدر باید باشد؟ فرض کنید بازده سیستم ۱۰۰٪ است.

$$V_p = \frac{231.Q_T}{N} = \frac{231(\frac{in^3}{gal}).8(\frac{gal}{min})}{1800(\frac{rev}{min})} = 1.03\ (\frac{in^3}{rev})$$

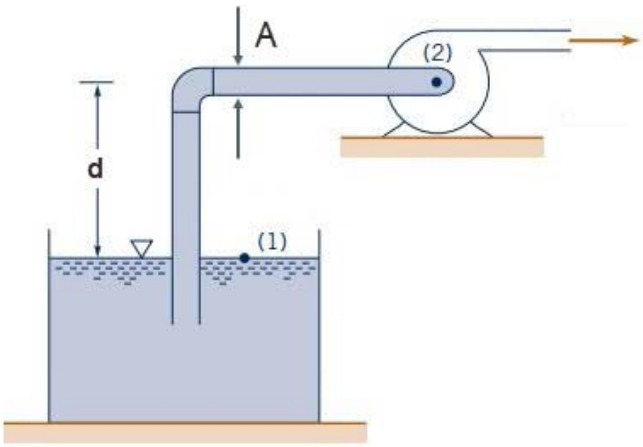
❖ مثال: حجم جابجایی یک پمپ $20\ cm^3/rev$ است و با سرعت گردشی 1000 rpm می چرخد. شدت جریان تئوریک این پمپ چقدر است؟

$$Q_T = \frac{V_p.N}{1000} = \frac{20.1000}{1000} = 20\ Lit/min$$

توان موتوری که برای به حرکت در آوردن پمپ لازم است، به وسیله ظرفیت پمپ و فشار کاری مشخص می شود.

$$\text{توان} = \frac{\text{کار}}{\text{زمان}} = \frac{\text{نیرو} \times \text{جابجایی فاصله}}{\text{زمان}}$$

در شکل ۴-۳، یک پمپ، مایع را به داخل لوله ای با سطح مقطع A و با فشار P و نیز به فاصله d در زمان t پمپاژ می کند.



شکل ۳-۴

نیرو (F) برابر است با $P \times A$ و محاسبه توان بصورت زیر می باشد:

معادله ۴-۲

$$W = \frac{P \times A \times d}{t}$$

W= توان بر حسب وات (w)

P= فشار (Pa، psi، atm)

A= سطح مقطع (m^2، in^2)

d= فاصله جابجایی (m، in)

t= زمان (s)

از آنجایی که $\frac{A \times d}{t}$ فرمول محاسبه دبی می باشد در نتیجه: دبی×فشار=توان

با توجه به اینکه خروجی یک پمپ، یک سیال جاری تحت فشار است، می توان برای محاسبه توان خروجی یک پمپ از دو معادله زیر استفاده کرد. معادله ۴-۳ بر مبنای واحد اینچی و معادله ۴-۴ بر مبنای واحد متریک می باشد.

معادله ۴-۳

$$HP_H = \frac{P \times Q}{1714}$$

HP_H= بر حسب اسب بخار (hp)

P= بر حسب پوند بر اینچ مربع (psi)

Q= بر حسب گالن بر دقیقه (gpm)

معادله ۴-۴

$$kW_H = \frac{P \times Q}{60000}$$

kW_H= بر حسب کیلو وات (kW)

P= بر حسب کیلو پاسکال (kPa)

Q= بر حسب لیتر بر دقیقه (lpm)

❖ مثال: شدت جریان یک پمپ هیدرولیک 20 gpm و حداکثر فشار آن 2500 psi است. حداکثر توان خروجی این پمپ چقدر است؟

✓ با توجه به معادله ۴-۳ داریم:

$$HP_H = \frac{P \times Q}{1714} = \frac{2500(psi) \times 20(gpm)}{1714} = 29.2\ hp$$

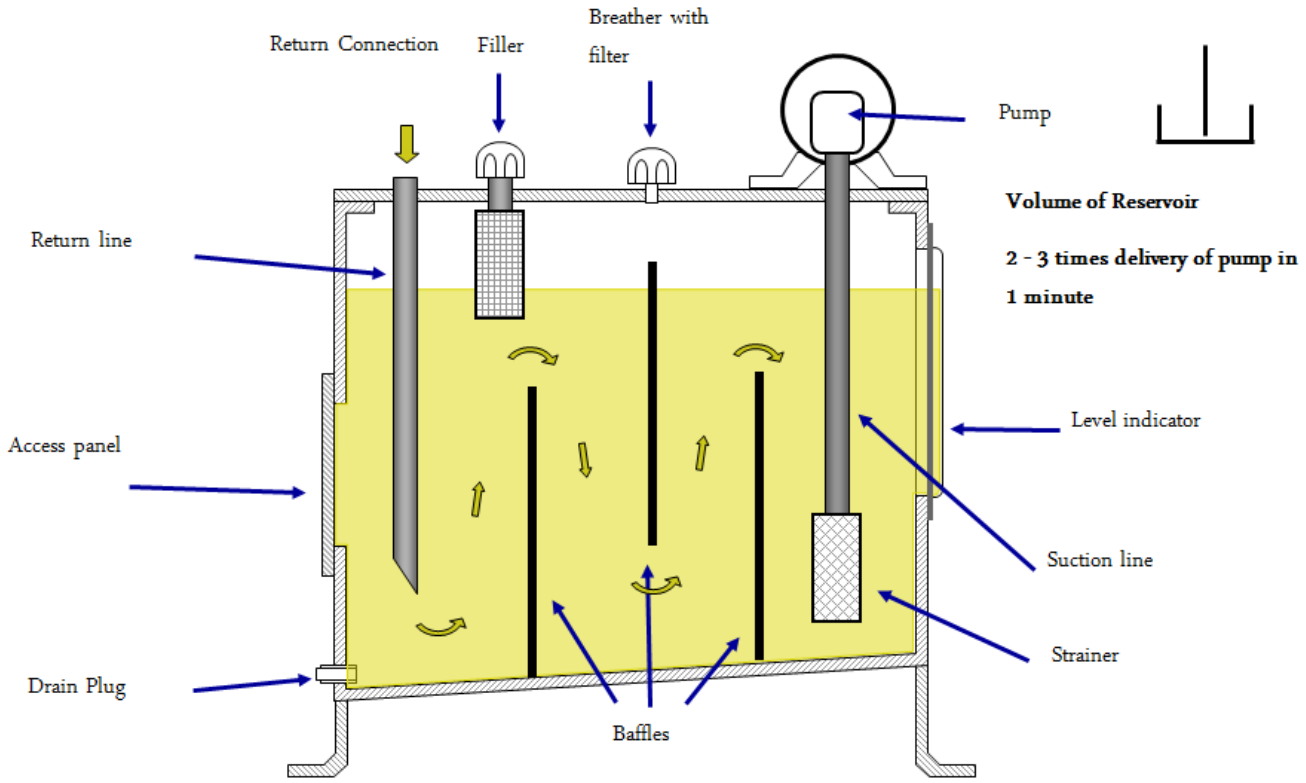
❖ مثال: شدت جریان یک پمپ هیدرولیک 75 lpm و حداکثر فشار آن 20000 kPa است. حداکثر توان خروجی این پمپ چقدر است؟

✓ با توجه به معادله ۴-۴ داریم:

$$kW_H = \frac{P \times Q}{60000} = \frac{20000(kPa) \times 75(lpm)}{60000} = 25\ kW$$

۵- مخزن هیدرولیک[1]

سیستم هیدرولیک یک مدار بسته بوده و روغن مورد نیاز سیستم در داخل یک مخزن یا تانک ذخیره می گردد تا پس از استفاده در داخل سیستم به آن باز گردد. مانند تمام قطعات دیگر سیستم هیدرولیک، طراحی و نگهداری خوب، مهم ترین عامل در عملکرد مورد انتظار و عمر طولانی آن خواهد بود. در زیر تصویری از مخزن هیدرولیک و علامت اختصاری آن در مدارهای هیدرولیک نشان داده شده است.



شکل ۱-۵

[1] Reservoir

منابع

[۱] Johnson، J. L. گام به گام آموزش هیدرولیک و پنوماتیک مقدماتی. ترجمه شیر خورشیدیان، اکبر، و حمید رهروان. تهران: نشر طراح. چاپ سوم. ۱۳۸۸. شابک ۶-۱۳-۲۹۱۷-۹۶۴-۹۷۸.

[۲] رستمی، حمید رضا. آموزش مهارت هیدرولیک و پنوماتیک. تهران: نشر اتحاد- ادبستان. چاپ چهارم. ۱۳۹۳. شابک ۵-۴۴-۸۷۸۳-۹۶۴-۹۷۸

[۳] صحرائی، علی، و افقهی، مهدی. هیدرولیک و پنوماتیک. تهران: نشر زبان تصویر. چاپ ششم. ۱۳۸۷. شابک ۷-۳-۹۳۶۴۱-۹۶۴.