



اصول پایه ای هیدرولیک

طرز کار سیستم هیدرولیکی

(1) تبدیل انرژی مکانیکی به قدرت سیال تحت فشار به وسیله پمپ

(2) انتقال سیال تا نقطه مورد نظر توسط لوله ها و شلنگ ها

(3) کنترل فشار، جهت و جریان سیال توسط شیرها

(4) انجام کار توسط عملگرها (سیلندرها / هیدروموتورها)

اجزاء تشکیل دهنده سیستم هیدرولیکی

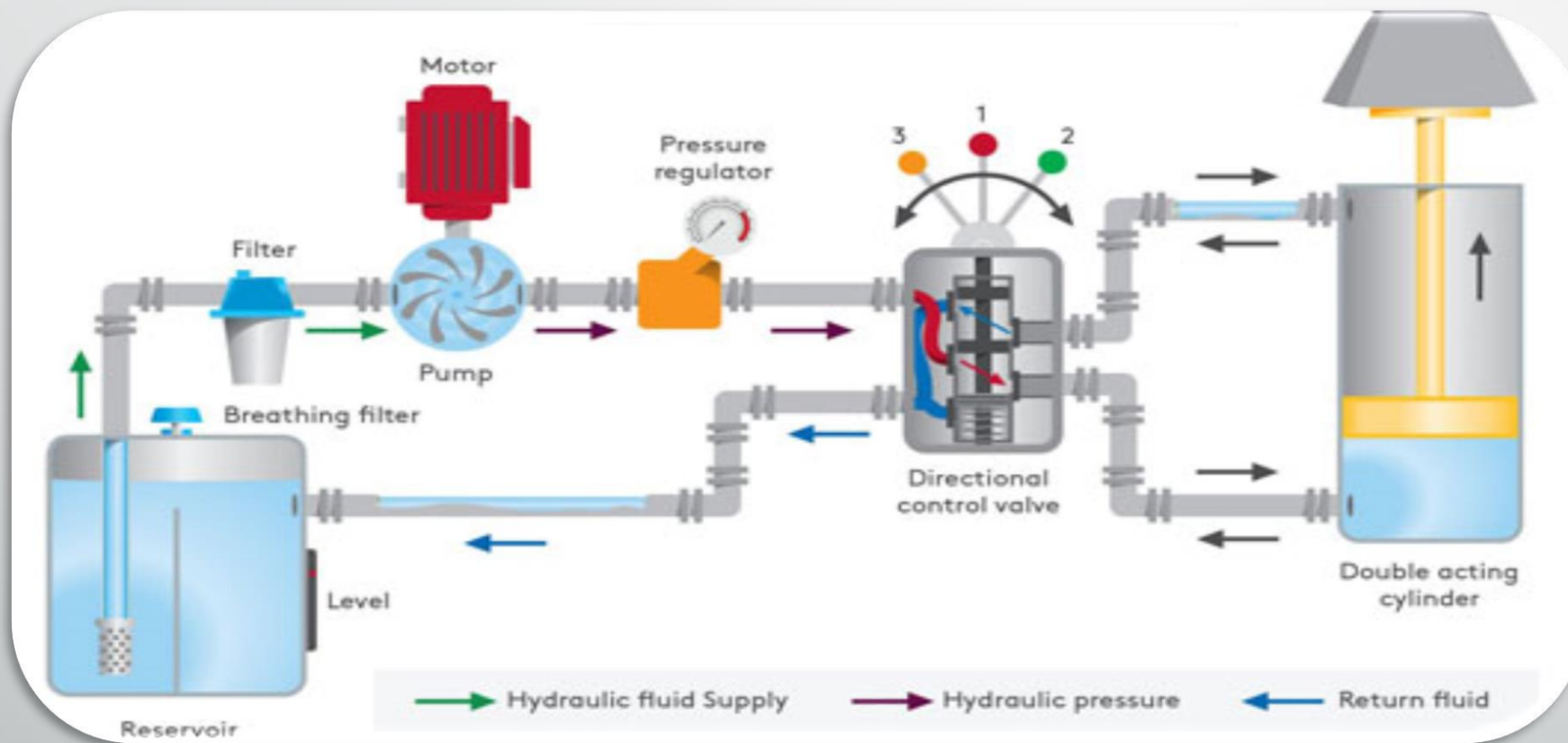
(1) **مخزن** (جهت نگهدای سیال)

(2) **پمپ** (جهت به جریان انداختن سیال در سیستم که توسط الکتروموتور و یا محرکه دیگری به کار انداخته می شود).

(3) **شیرها هیدرولیکی** (به منظور کنترل فشار، جریان و جهت حرکت سیال)

(4) **عملگرها** (سیلندر ها جهت ایجاد حرکت خطی و یا هیدروموتورها جهت تولید حرکت دورانی)

عملکرد سیستم هیدرولیک



فشار هیدرواستاتیکی

فشار نظیر **ارتفاع ستون سیال** و یا "**هد**" مقدار فشاری است که ارتفاع ستون سیال در نتیجه وزن خود روی سطح تکیه گاهی به وجود می آورد.

فشار هیدرواستاتیکی به فشاری گفته می شود که یک مایع به دلیل وزن خودش در حالت سکون بر سطح یا دیواره های ظرف وارد می کند.

$$p(pa) = \rho \left(\frac{kg}{m^3} \right) \times g \left(\frac{m}{s^2} \right) \times H(m)$$

به عنوان مثال مخزنی در ارتفاع ۱۲ متری از سطح زمین که حاوی آب می باشد قرار گرفته است. با توجه به چگالی آب و مقدار شتاب جاذبه، فشار هیدرواستاتیکی معادل ۱.۲ بار وارد می شود.

فشار هیدرواستاتیکی

به عنوان مثال مخزنی در ارتفاع ۱۲ متری از سطح زمین که حاوی آب می باشد قرار گرفته است. با توجه به چگالی آب و مقدار شتاب جاذبه، فشار هیدرواستاتیکی معادل ۱.۲ بار وارد می شود.

$$h = 12m$$

$$\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$g = 10 \frac{m}{s^2}$$

$$p = h \cdot \rho \cdot g = 12 \cdot 1000 \cdot 10 = 120000 \frac{m \cdot kg \cdot m}{m^3 \cdot s^2} = 120000 \text{ pa} = 1.2 \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} = 14.5 \text{ psi} = 100000 \text{ pascal}$$

فشار

$$p = \frac{F}{A} \quad pas = \frac{N}{m^2}$$

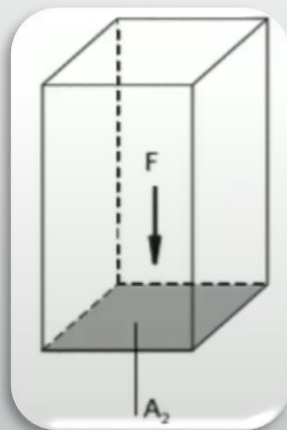
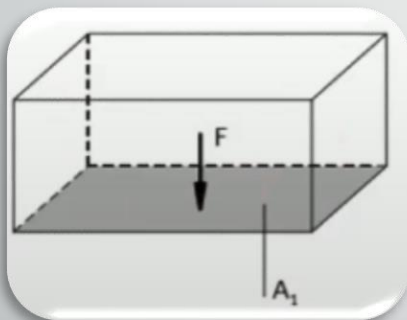
✓ هر جسمی، فشار خاص P بر پایش وارد می شود.

✓ مقدار این فشار به نیروی حاصل از وزن جسم و همچنین به اندازه سطحی که این نیروها بر آن اعمال می شود بستگی دارد.

✓ شکل، دو جسم با سطح های پایه های مختلف (A_1 و A_2) را نشان می دهد.

✓ در حالی که اجسام دارای جرم یکسان هستند، نیروی وزن F یکسانی بر پایه وارد می شود.

✓ فشار به دلیل تفاوت اندازه سطح پایه ها متفاوت است.



$$F_1 = F_2 = m \cdot g$$

$$P_1 > P_2$$

$$A_1 > A_2$$

فشار هیدرواستاتیک

یک سیلندر با فشار ۱۰۰ بار تغذیه می شود، سطح موثر پیستون برابر با ۹.۶۵ سانتی متر مربع است. بیشترین نیرویی که می توان به دست آورد را بیابید.

$$P = 100 \text{ bar} = 1000 \text{ N/cm}^2$$

$$A = 6.65 \text{ cm}^2$$

$$F = P.A = 1000 \times 6.65 = 6650 \text{ N}$$

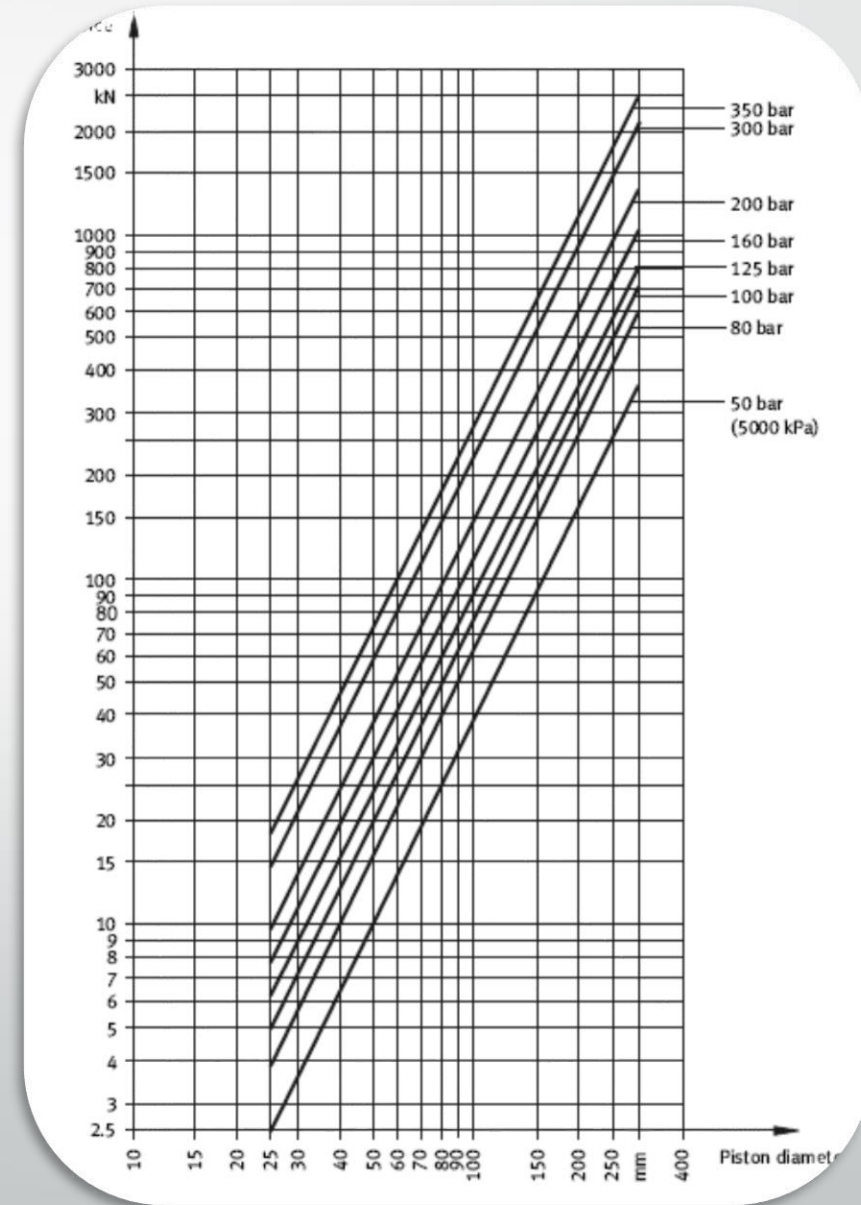
فشار- نیرو - قطر پیستون

$$P = 100 \text{ bar} = 1000 \text{ N/cm}^2$$

$$F = P.A = 1000 \times 6.65 = 6650 \text{ N}$$

$$A = 6.65 \text{ cm}^2$$

$$\text{piston diameter} = 29.1 \text{ mm}$$



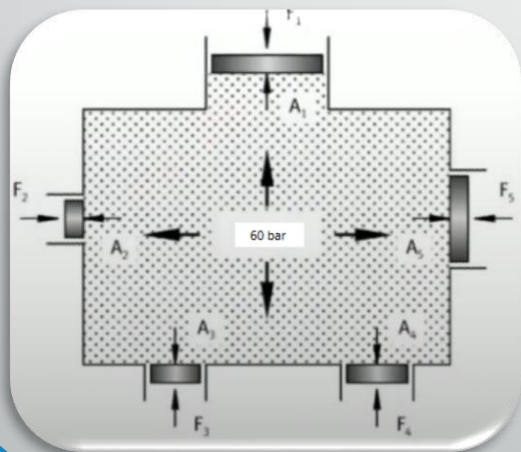
قانون پاسکال

اگر یک نیروی F_1 از طریق سطحی A_1 بر یک مایع محصور وارد شود:

فشار P ایجاد می شود که در تمام نقاط مایع گسترش می یابد. (بر اساس قانون پاسکال)

همان فشار در تمام نقاط **سیستم بسته** اعمال می شود.

سیستم های هیدرولیک در فشار های بسیار بالا عمل می کنند، بنابراین فشار هیدراستاتیکی را نادیده می گیریم.



مفهوم **تقویت کننده ها** (Amplifier or booster) در سیستم هیدرولیک

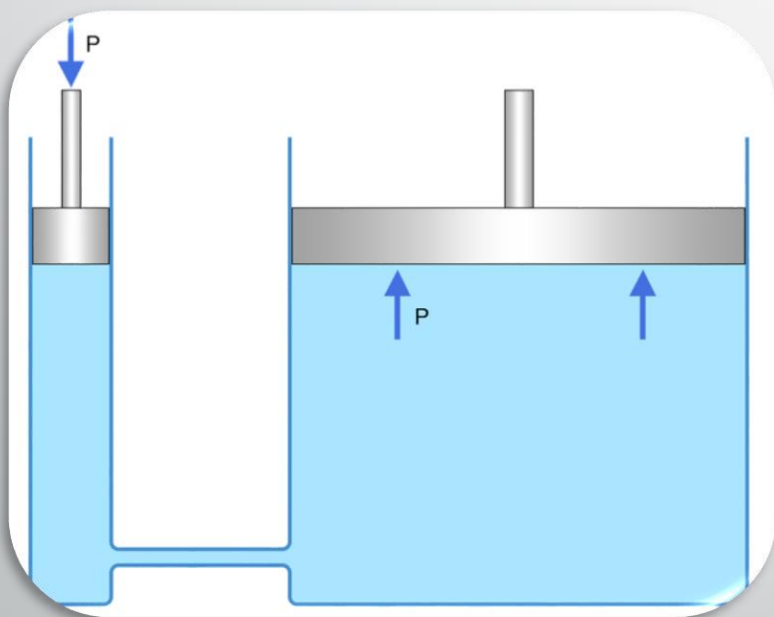
نتیجه قانون پاسکال است.

قانون پاسکال

✓ فشار در سرتاسر سیال در حال سکون یکسان می باشد.

✓ در هر لحظه فشار استاتیک در تمام جهات برابر است.

✓ فشار سیال در تماس با سطوح به صورت عمودی اعمال می شود.



اصل تشدید نیرو

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

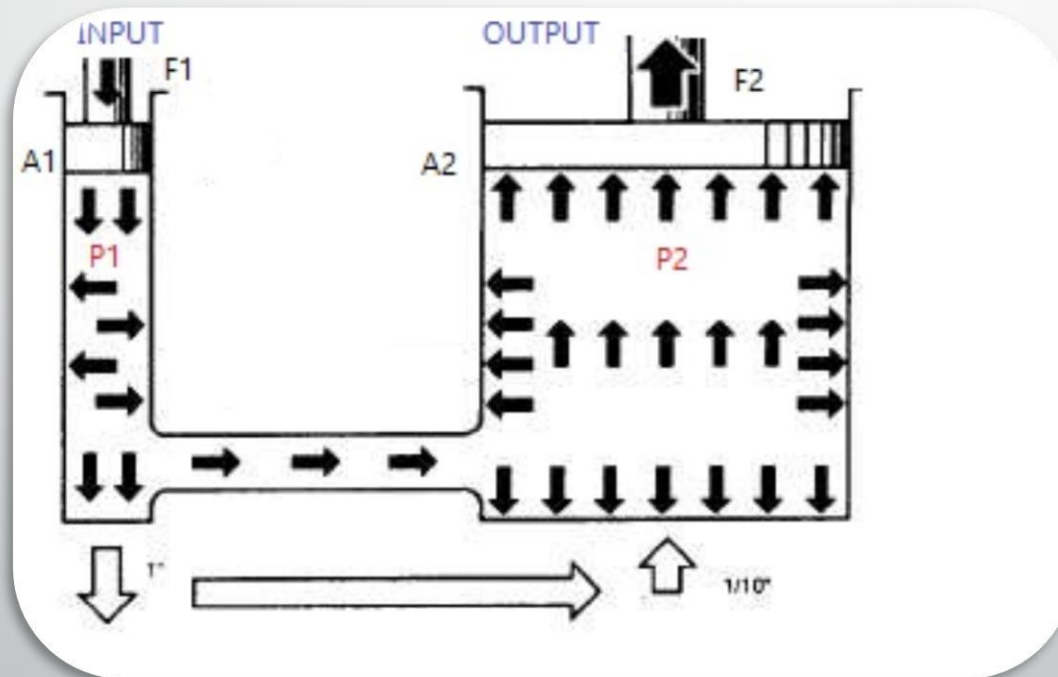
$$A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$$

$$P_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

$$A_2 = \frac{\pi d_2^2}{4}$$

$$P_1 = P_2 = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

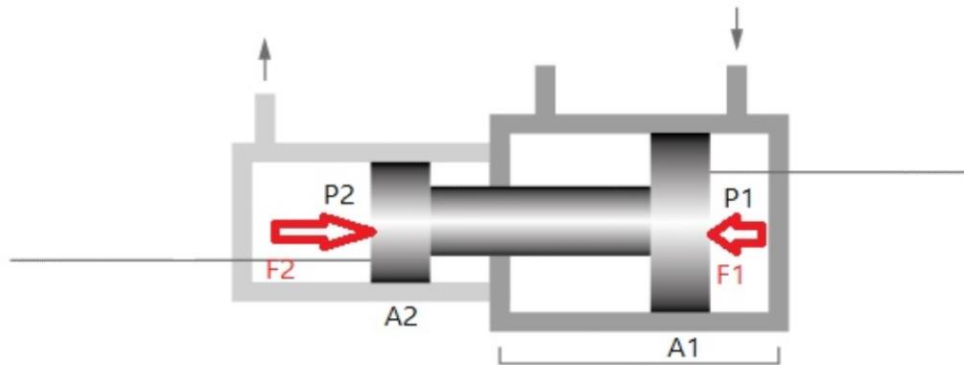
$$F_2 = F_1 \times \frac{A_2}{A_1}$$



اصل تشدید فشار

فرض: قطعه صلب (rigid) که به طرف آن سطح مقطع A_1 و سمت دیگر سطح مقطع A_2 چون جسم صلب در نظر گرفته شده است برآیند نیروی F_1 که بر سطح مقطع A_1 وارد می شود با نیروی F_2 که بر سطح مقطع A_2 وارد می شود صفر می شود.

$$F_1 = P_1 \cdot A_1$$



$$F_2 = P_2 \cdot A_2$$

$$\Sigma F = 0 \longrightarrow F_1 = F_2 \longrightarrow P_1 \cdot A_1 = P_2 \cdot A_2 \longrightarrow P_2 = 5 \cdot P_1$$

$$IF: \frac{A_1}{A_2} = 5$$

بقاء انرژی

انرژی پتانسیل ناشی از ارتفاع $(J) = W(N) \times Z(m)$

انرژی پتانسیل ناشی از فشار $(J) = \frac{W(N) \times p(pa)}{\gamma(N/m^3)}$

قانون بقاء انرژی بیان می کند که انرژی نه تولید می شود و نه از بین می رود بلکه از شکلی به شکل دیگر تبدیل می شود.

انرژی جنبشی $(J) = 1/2 \left(\frac{W(N)}{g(m/s^2)} \right) \times V(m/s^2)$

کل انرژی سیال از جمع جبری سه نوع انرژی بدست می آید $E_{total} = W \cdot Z + \frac{W \cdot p}{\gamma} + \frac{1}{2} \left(\frac{W}{g} \right) \cdot V = cte$

معادله پیوستگی

طبق معادله پیوستگی، هنگام جریان یکنواخت سیال از لوله، دبی عبوری از تمام مقاطع یکسان می باشد.

$$W(N/s) = \gamma(N/m^3) \times A(m^2) \times V(m/s)$$

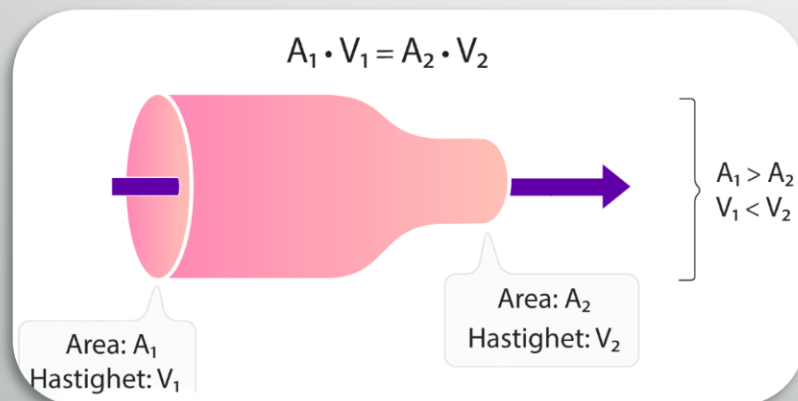
$$W_1 = W_2 \quad \gamma_1 \cdot A_1 \cdot V_1 = \gamma_2 \cdot A_2 \cdot V_2$$

با توجه به پیوستگی جریان:

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad Q_1 = Q_2$$

با فرض تراکم ناپذیری سیال:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{D_2^2}{D_1^2}$$



توان هیدرولیکی

کُرس حرکت × سطح مقطع داخل سیلندر = جا به جایی حجمی سیلندر

$$V_D(m^3) = A(m^2) \times S(m)$$

دبی = حجمی / زمان

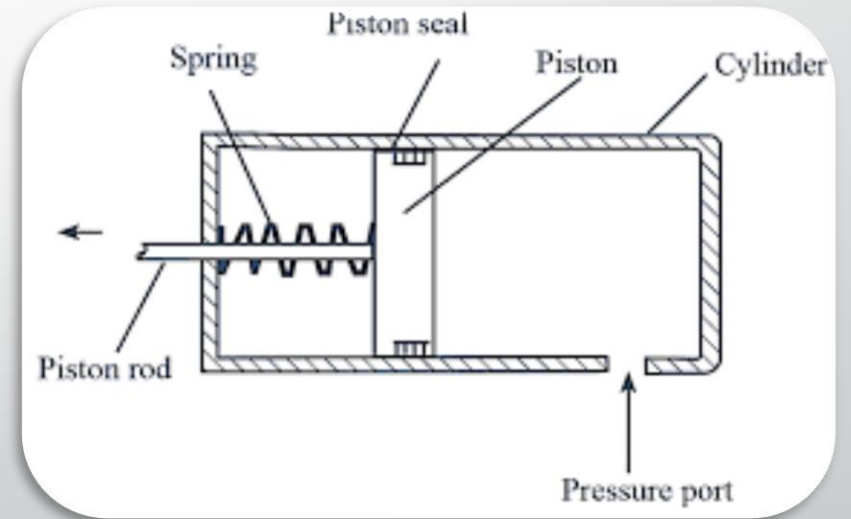
$$Q(m^3/sec) = \frac{V_D(m^3)}{t(s)} = \frac{A(m^2) \times S(m)}{t(s)} = A(m^2) \times V(m/s)$$

انرژی = نیرو × جا به جایی

$$W = F.S = P.A.S$$

توان = انرژی / زمان

$$W = \frac{P.A.S}{t} = p.A.V = P(N/m^2) \times Q(m^3/s)$$



جریان آرام و مغشوش

از عوامل موثر بر حالت جریان سیال (آرام یا مغشوش) می توان به پارامترهایی نظیر نحوه طراحی سیستم هیدرولیک و بهره برداری از آن، نوع سیال مورد استفاده، قطر لوله و صافی سطح آن، درجه حرارت سیال و میزان استفاده از انواع محدودکننده ها (نظیر شیرها، اتصالات و...) اشاره نمود.

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$$

به منظور تعیین نوع جریان در لوله های صاف از عدد رینولدز (Re) استفاده می شود.

چنانچه عدد رینولدز به دست آمده کمتر از ۲۳۰۰ باشد جریان لایه ای و آرام و در غیرسیال جریان سرعت V:

d: قطر لوله

این صورت جریان مغشوش در نظر گرفته می شود.

لزجت سینماتیکی : ν

(Re) : بی بعد

جریان آرام و مغشوش

مقدار ۲۳۰۰ به عنوان رینولدز بحرانی برای لوله های صاف و گرد در نظر گرفته می شود. سرعت بحرانی به سرعتی

اطلاق می شود که در آن جریان آرام به مغشوش تبدیل می گردد و از رابطه زیر بدست می آید:

$$V_{cr} = \frac{Re_{cr} \cdot v}{d} = \frac{2300 \cdot v}{d}$$

به منظور اجتناب از جریان مغشوش که باعث افت های اصطکاکی نامطوب در

سیستم هیدرولیکی می گردد باید عدد رینولدز از حد بحرانی (Re_{cr}) تجاوز نکند. البته سرعت بحرانی یک عدد ثابت نیست و به لزجت سیال و قطر لوله نیز بستگی دارد، لذا مقادیر استاندارد زیر برای سرعت بحرانی در خط انتقال در نظر گرفته می شود.

جریان آرام و مغشوش

برای فشار کاری تا ۵۰ بار $V_{cr} = 4 \text{ m/s}$ ←

برای فشار کاری تا ۵۰ بار $V_{cr} = 4.5 \text{ m/s}$ ←

برای فشار کاری تا ۱۵۰ بار $V_{cr} = 5 \text{ m/s}$ ←

برای فشار کاری تا ۱۵۰ بار $V_{cr} = 5.5 \text{ m/s}$ ←

برای فشار کاری تا ۱۵۰ بار $V_{cr} = 6 \text{ m/s}$ ←

۵ کلاس فشاری

در خط مکش $V_{cr} = 1.5 \text{ m/s}$ ←

در خط برگشت $V_{cr} = 2 \text{ m/s}$ ←

اصطکاک و گرما

اصطکاک موجب گرم شدن سیال و در نتیجه گرم شدن اجزاء سیستم هیدرولیک می شود. این گرمایش موجب افت فشار و کاهش فشار عملکرد در قسمت مورد نظر خواهد شد. میزان افت فشار به مقاومت های داخلی سیستم هیدرولیک بستگی داشته که به پارامتر های زیر وابسته است.

(۱) سرعت سیال (سطح مقطع جریان، دبی)

(۶) ویسکوزیته روغن

(۲) نوع جریان (آرام، مغشوش)

(۷) نحوه استقرار خط جریان (خطوط لوله)

(۳) نوع و تعداد کاهش سطح مقطع در خطوط جریان (گلوگاه ها)

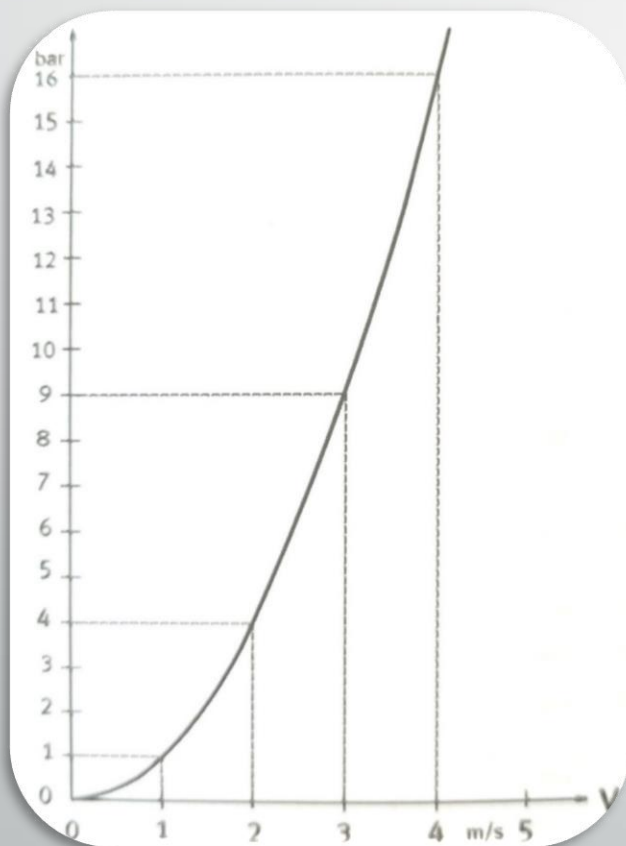
(۸) صافی سطح

(۴) قطر

(۵) طول خط جریان و میزان انحراف آن

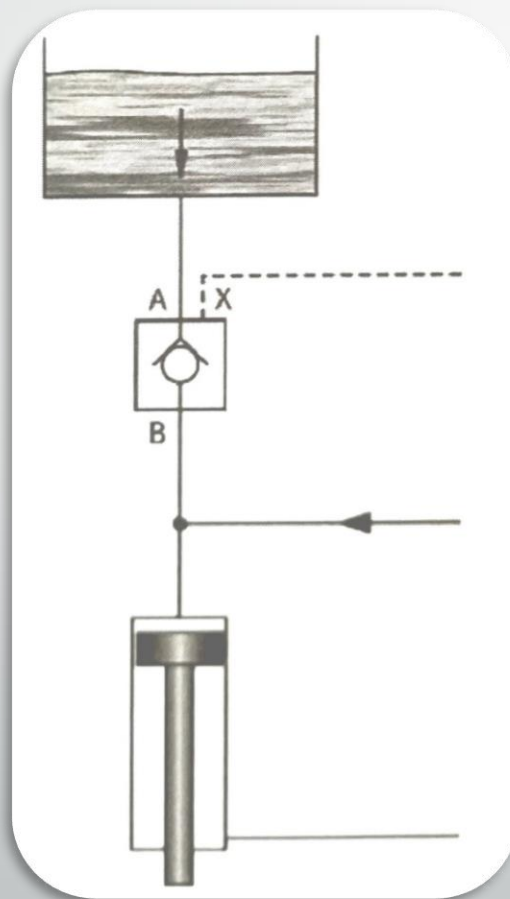
اصطکاک و گرما

سرعت جریان بیشترین تاثیر را بر مقاومت های داخلی سیستم دارد زیرا مقاومت با توان دوم سرعت متناسب است.



استاتیک (انرژی پتانسیل)

انرژی پتانسیل نوعی از انرژی است که یک جسم یا سیال به هنگام ارتفاع گرفتن بدست می آورد.



$$W = m(kg) \cdot g \left(\frac{m}{s^2} \right) \cdot h(m)$$

استاتیک (انرژی فشاری)

تحت فشار قرار گرفتن سیال باعث کاهش حجم آن می گردد. میزان انرژی ذخیره شده در سیال در نتیجه تحت فشار قرار گرفتن به میزان p و به تبع آن کاهش حجم از رابطه زیر به دست می آید.

$$W = P(N/m^2) \times \Delta V(m^3)$$

تمامی مواد تراکم پذیر می باشند. اگر فشار اولیه سیال (p_0) به میزان ΔP افزایش یابد و حجم اولیه آن (V_0) به میزان ΔV کاهش می یابد. در سیستم هایی با عملکرد دقیق نبایستی پارامترهای تراکم پذیری نادیده گرفته شود.

$$K = -V_0 \times \frac{\Delta P}{\Delta V} \quad \text{مدول بالک}$$

در سیستم های سرو و پروپرشنال مدول بالک در نظر گرفته می شود.

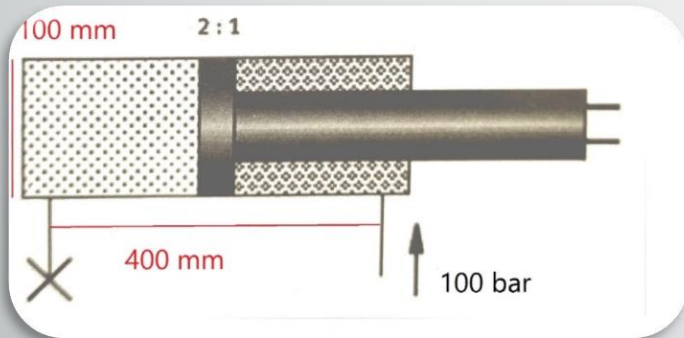
مدول بالک

Bulk modulus (modulus of elasticity or compression modulus)

ذاتا یک روغن کاملا تراکم ناپذیر نداریم. در فشارهای بالا روغن خاصیت فنری پیدا می کند.

$$K = -V_0 \times \frac{\Delta P}{\Delta V}$$

$$K_{OIL} = 1 \sim 1.2 \times 10^5 \frac{N}{cm^2}$$



$$K = V_0 \times \frac{\Delta P}{\Delta V}$$

$$\Delta V = A \times \Delta L$$

$$V_0 = A \times L$$

$$\Delta V = V_0 \times \frac{\Delta P}{K}$$

$$A \times \Delta L = A \times L \times \frac{\Delta P}{K}$$

$$\Delta L = L \times \frac{\Delta P}{K} = 400mm \times \frac{500 \frac{N}{cm^2}}{1.2 \times 10^5 \frac{N}{cm^2}}$$

$$\Delta L = 1.6mm$$

اصل تشدید فشار $\rightarrow 100bar \times 1 = p_2 \times 2$

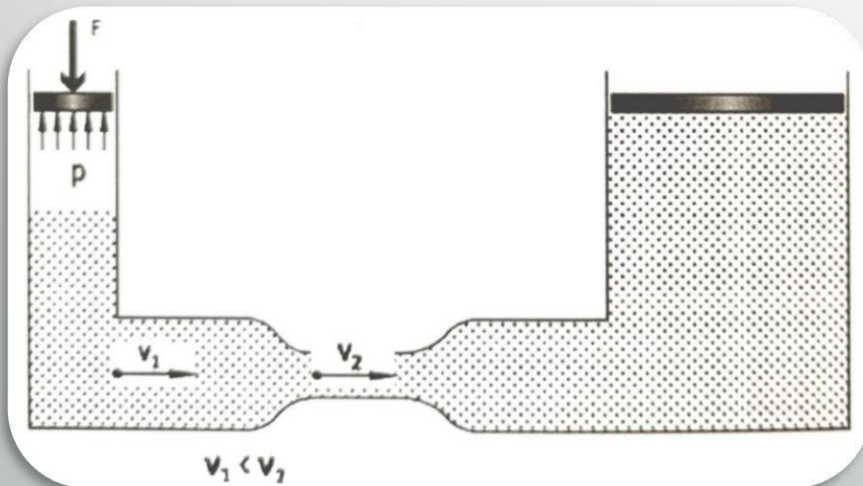
$$p_2 = 50 bar$$

دینامیکی (انرژی حرکتی)

انرژی حرکتی نوعی از انرژی است که یک جسم یا ذره ای سیال به هنگام حرکت در سرعت معین از آن برخوردار می باشد.

$$W = F(N) \times S(m) = m \cdot a \cdot s = m \cdot a \cdot \frac{1}{2} \cdot (a \cdot t^2) = \frac{1}{2} \cdot m \cdot a^2 \cdot t^2 = \frac{1}{2} m v^2$$

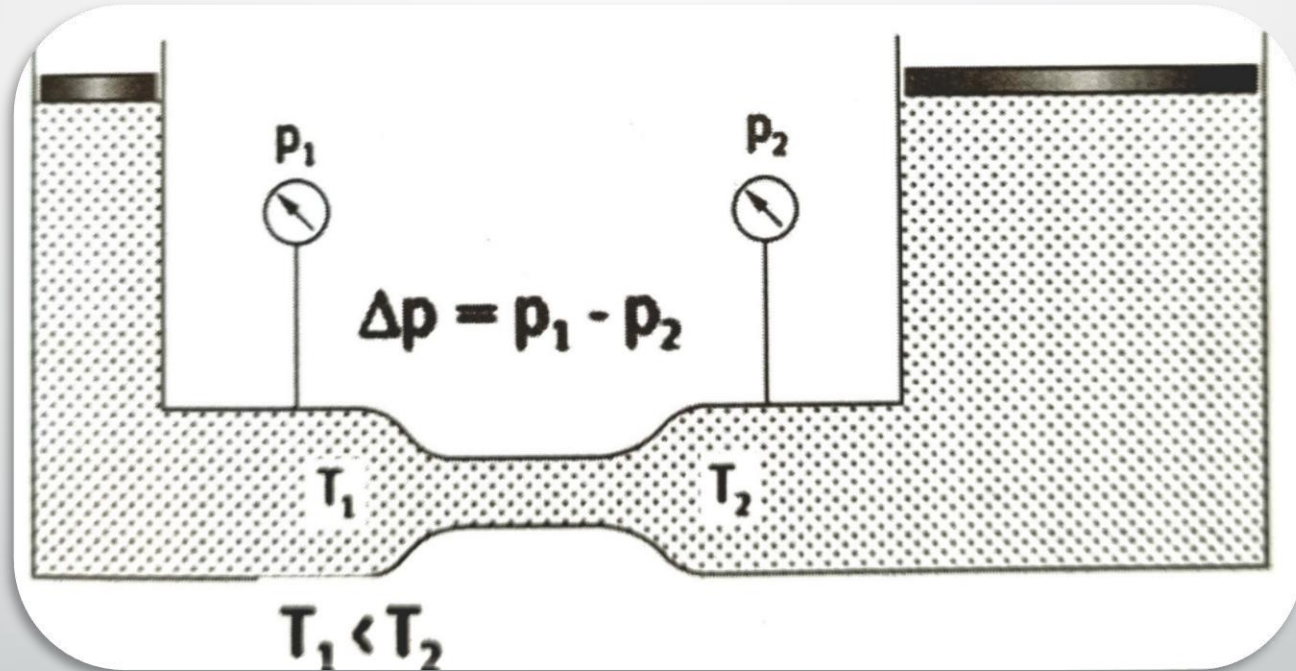
در حالتی که میزان دبی جریان ثابت باشد، هر میزان تغییر در سرعت سیال، تغییر در انرژی حرکتی آن را به همراه خواهد داشت.



دینامیکی (انرژی حرارتی)

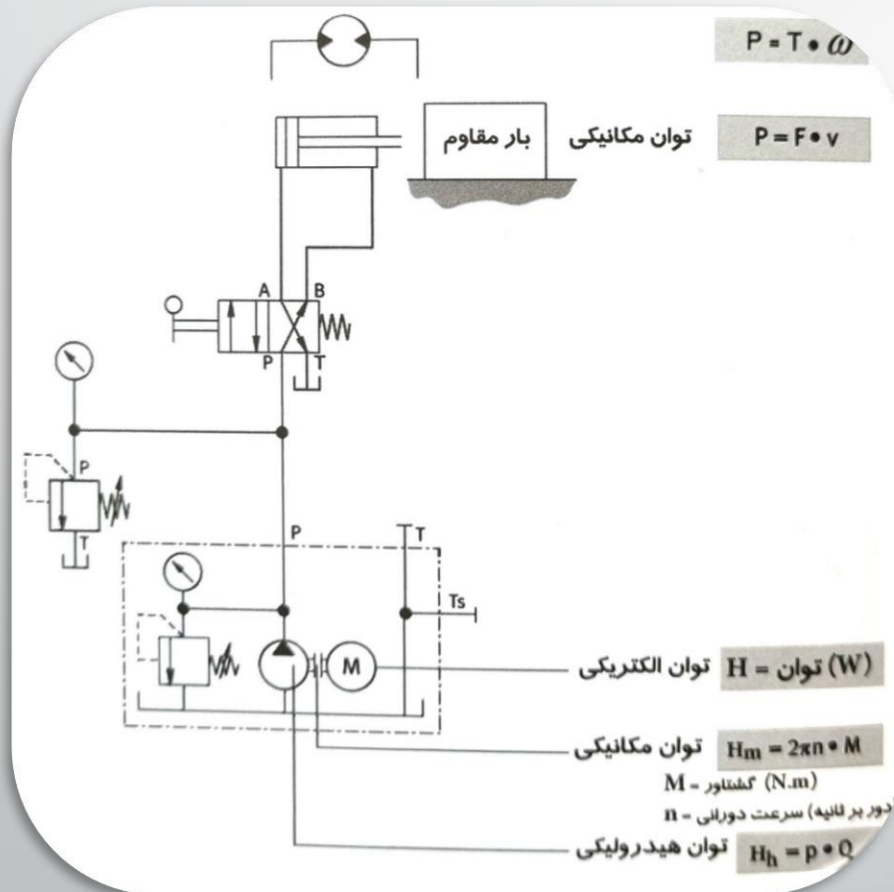
- انرژی حرارتی عبارت است از انرژی لازم جهت رساندن جسم (یا سیال) به دمای معین.

$$W = \Delta p(pa) \times V(m^3)$$



توان

توان معمولاً کار یا تغییر انرژی در واحد زمان تعریف می شود. در سیستم های هیدرولیکی ابتدا توان مکانیکی به توان هیدرولیکی تبدیل می شود. توان هیدرولیکی پس از انتقال و کنترل مجدداً به توان مکانیکی تبدیل می شود.



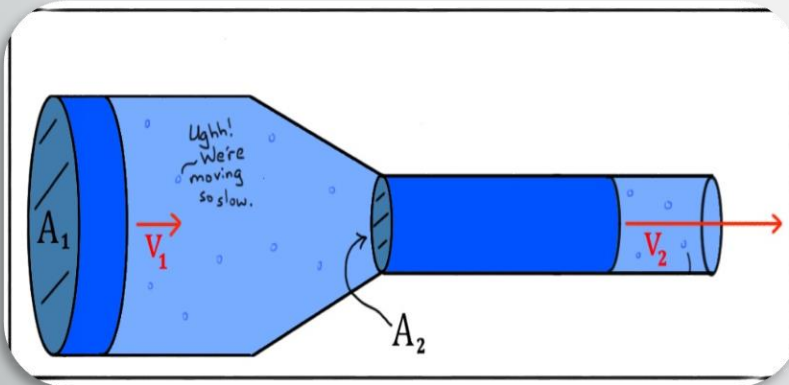
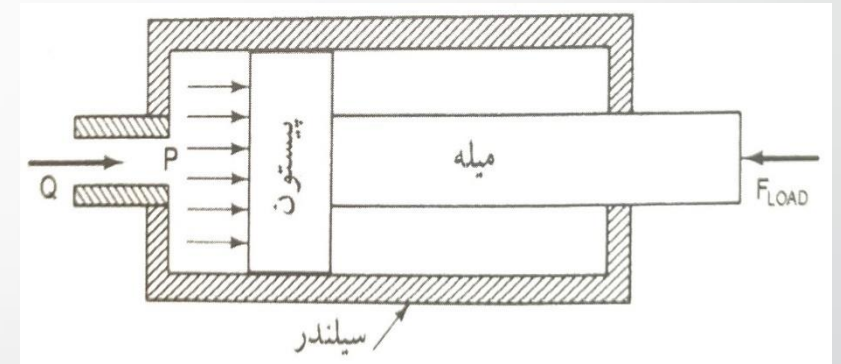
$$H_H(W) = p(pa) \times Q(m^3/s)$$

دبی

$$Q(m^3/s) = \frac{V_D(m^3)}{t(s)}$$

کُورس حرکت × سطح مقطع داخل سیلندر = جا به جایی حجمی سیلندر $\longrightarrow V_D(m^3) = A(m^2) \times S(m)$

$$Q(m^3/s) = \frac{V_D(m^3)}{t(s)} = \frac{A(m^2) \times S(m)}{t(s)} = A(m^2) \times V(m/s)$$



$$A_1 \times V_1$$

$$A_2 \times V_2$$

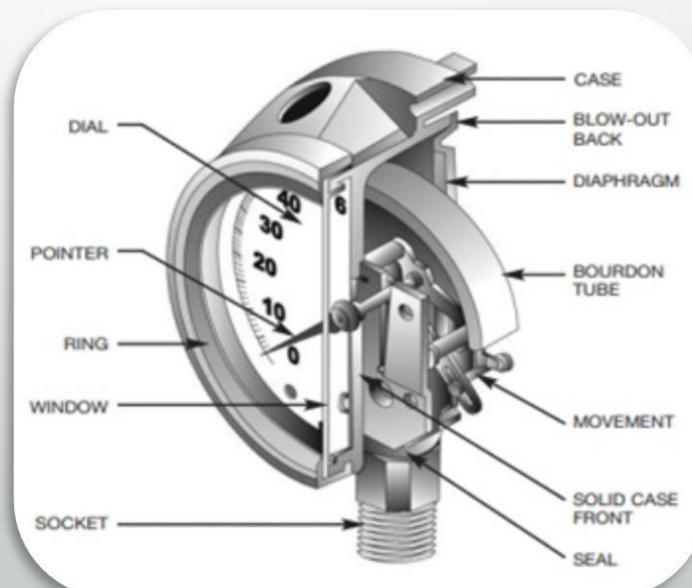
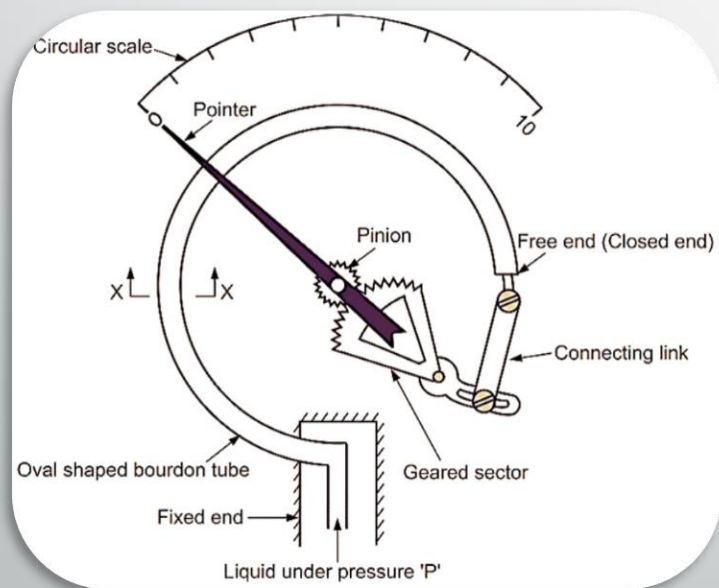
طبق اصل بقای جرم دبی ثابتی از سطح مقطع ها می گذرد و حجم مشخصی از سیال عبور می کند.

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1(m^2) \times V_1(m/s) = A_2(m^2) \times V_2(m/s)$$

فشارسنج هیدرولیک

Bourdon یک لوله ی تیوبی است که خم شده و با مکانیزمی به عقربه متصل شده است. وقتی مسیر جریان می خواهد وارد مسیر گیج شود از یک اوریفیس عبور می کند و مثل دمپر عمل می کند و اگر نوسات شدید فشار داشته باشیم این اوریفیس آنرا می گیرد و جریان یکنواختی را وارد گیج می کند. Tube سطح مقطعی دارد و به دلیل اختلاف سطح مقطع (سطح بیرونی و داخلی تیوب) چون فشار در سطح مقطع نیرو می شود مقادیر متفاوت فشار را به ما نشان می دهد.



۳ اصل اساسی هیدرولیک

(۱) پمپ هیدرولیک فقط مسئول ایجاد جریان سیال است (یعنی به سیال انرژی جنبشی می دهد و آنرا به حرکت در می آورد). پمپ خودش به تنهایی فشاری تولید نمی کند. فشار زمانی در سیستم به وجود می آید که این جریان سیال با مقاومت رو به رو می شود.

(۲) فشار فقط جایی ایجاد می شود که مقاومت وجود داشته باشد. وقتی سیال در مسیرش به مانعی برخورد می کند، انرژی جنبشی سیال به انرژی فشاری تبدیل می شود.

(۳) سیال تحت فشار همیشه مسیری را انتخاب می کند که کمترین مقاومت را دارد. به عنوان مثال اگر در یک مدار هیدرولیکی یک مسیر بسته و یک مسیر باز وجود داشته باشد، جریان مسیر با مقاومت کمتر را انتخاب می کند.