

توربو ماشین ها



محمدصادق کریمی



تحلیل ابعادی و تشابه، کمیت‌های تشابهی، سرعت مخصوص، طبقه‌بندی پمپ‌ها

۷-۱





موضوعات

❖ تعاریف

❖ ضرایب بی بعد

■ ضریب ارتفاع

■ ضریب دبی

■ ضریب قدرت

■ بازده

❖ قوانین تشابه

❖ مشخصه‌های بی بعد

❖ تعیین منحنی‌های مشخصه یک پمپ در دورهای مختلف

❖ تعیین تقریبی ارتفاع مانومتریک پمپ‌های سانتریفوژ

❖ سرعت مخصوص

❖ طبقه‌بندی توربوماشین‌ها



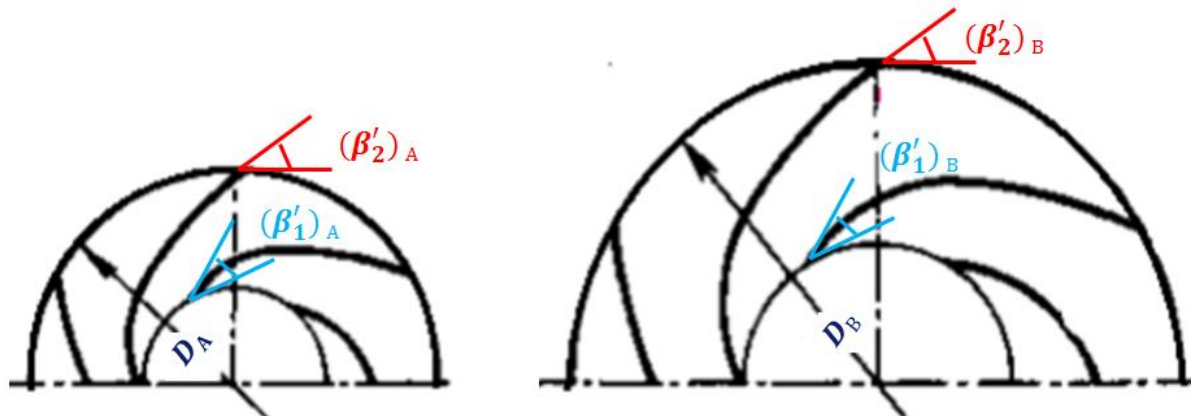


تعاریف

❖ دو پمپ هم‌تپ:



❖ هنگامی که از نظر هندسی مشابه باشند. یعنی تمام ابعاد خطی یکی از پمپ‌ها از ضرب عدد ثابتی (مقیاس) در ابعاد متناظر پمپ دیگر به دست آید



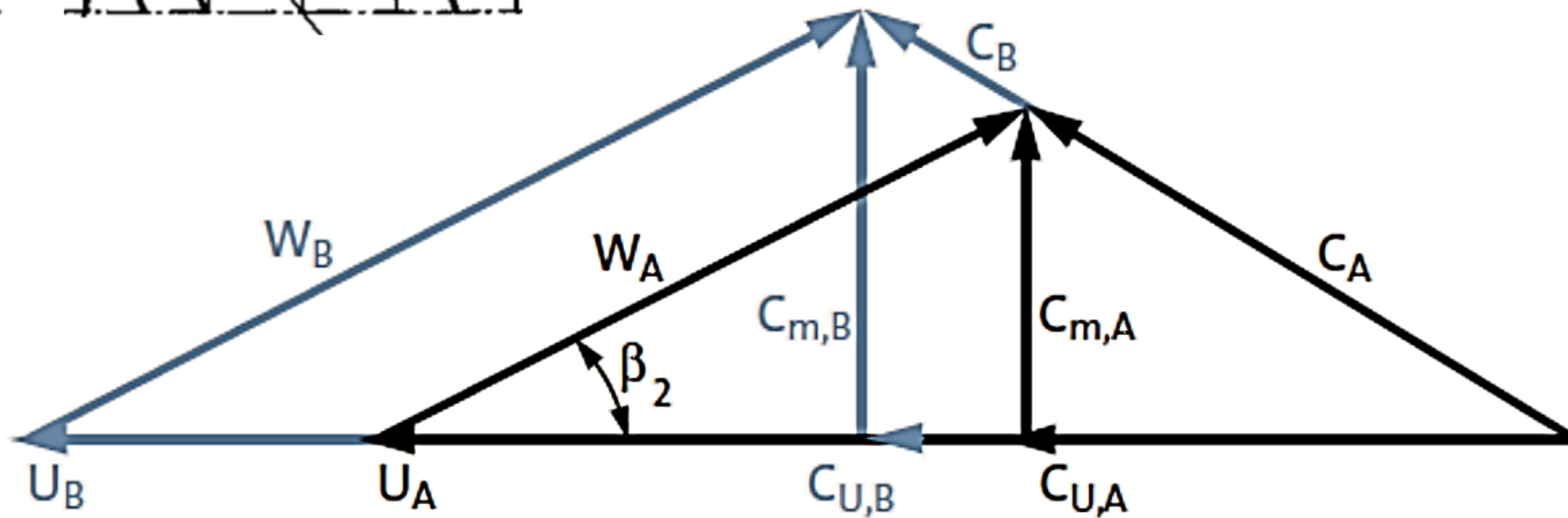
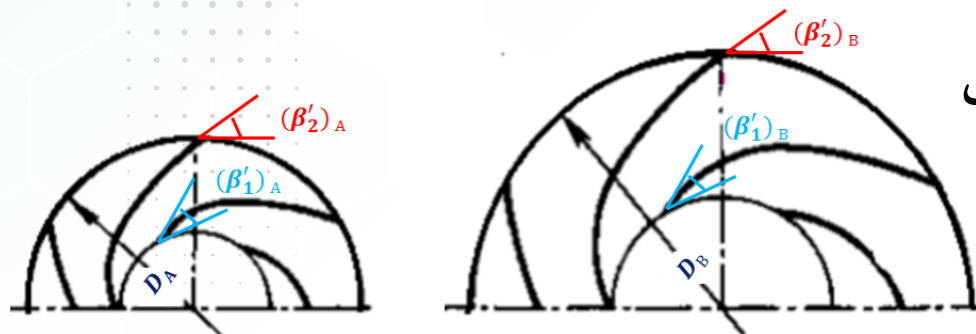
❖ زوایا نظیر، β'_1 و β'_2 در هر دو پمپ مساوی هستند
کلیه پمپ‌هایی که تشابه هندسی دارند. یک فامیل را تشکیل می‌دهند.





تعاریف

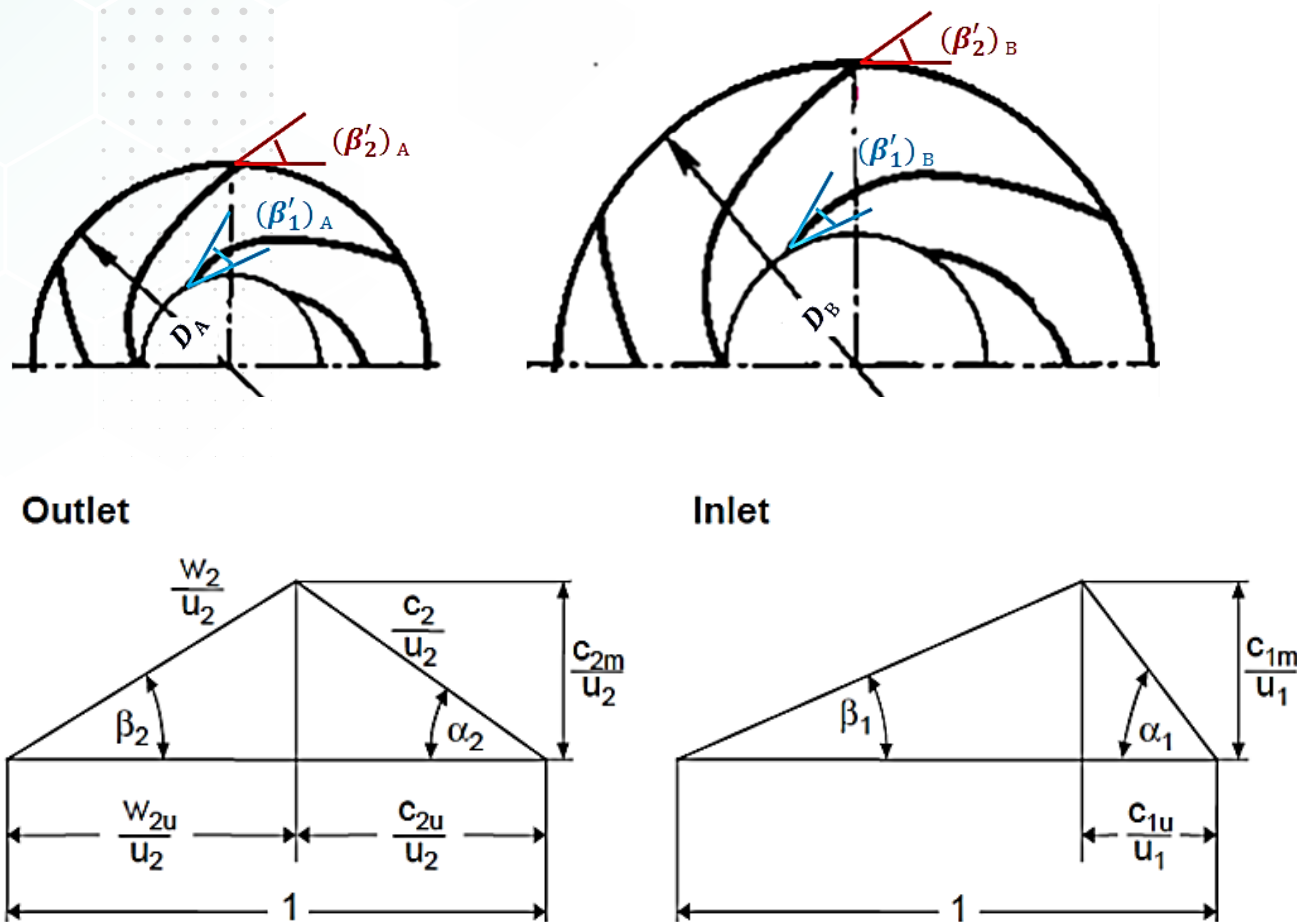
❖ تشابه کاری در دو پمپ از یک تیپ: در تمام جفت نقاط متناظر مثلث‌های سرعت‌ها مشابه باشند و یا بردارهای سرعت موازی دارای نسبت یکسان باشند.





تعاریف

- ❖ هر دو نقطه متناظر در چرخ دو پمپ مشابه را در نظر بگیریم و اضلاع مثلث های سرعت مربوطه را به سرعت های محیطی آنها تقسیم کنیم، مثلث های حاصله برابر شوند.
- ❖ بدین ترتیب اگر بین دو پمپ A و B از یک تیپ تشابه کاری وجود داشته باشد:



$$\alpha_A = \alpha_B \quad \beta_A = \beta_B$$

$$\left(\frac{c}{U}\right)_A = \left(\frac{c}{U}\right)_B \quad \left(\frac{W}{U}\right)_A = \left(\frac{W}{U}\right)_B$$





ضرائب بی بعد

$$H'' = \frac{1}{g}(U_2 C_2 \cos \alpha_2 - U_1 C_1 \cos \alpha_1) \quad \diamond \text{ ضریب ارتفاع:}$$

طبق معادله اولر داریم:


$$\frac{g H''}{U_2^2} = \frac{C_2}{U_2} \cos \alpha_2 - \frac{U_1}{U_2} \frac{C_1}{U_2} \cos \alpha_1$$

$$\frac{g H''}{U_2^2} = Cte \quad \leftarrow \quad \diamond \text{ کلیه جملات سمت راست برای دو پمپ یکسان هستند:}$$

$$\frac{g \tau_h}{U_2^2} = Cte \quad \leftarrow \quad \diamond \text{ اگر عدد رینولدز و زبری نسبی یکسان باشند:}$$

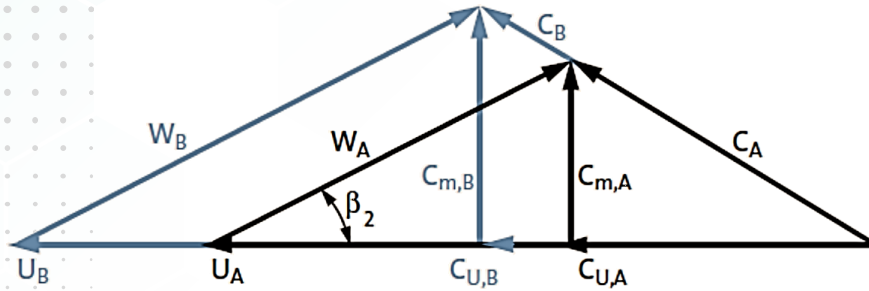
بنابراین دو پمپ هم تپ، که تشابه کاری دارند، دارای ضریب ارتفاع یکسانی می باشند:

$$\boxed{\psi = \frac{g H}{U_2^2} = Cte}$$





ضرائب بی بعد



❖ ضریب دبی:

❖ با توجه به تشابه مثلث های سرعت:

$$\frac{C_2 \sin \alpha_2}{U_2} = cte \quad \Rightarrow \quad \frac{Q''}{2\pi K_2 R_2 b_2 U_2} = cte$$

+

$$2\pi K_2 (b_2 / R_2) = cte$$

+

$$K_2 = 1 - Z \frac{e_2}{2\pi R_2 \sin \beta'_2}$$

$$\frac{Q''}{U_2 R_2^2} = cte$$

❖ برای دو پمپ از یک تیپ، در شرایط کاری مشابه:

$$\frac{Ql}{U_2 R_2^2} = cte$$

+

$$Q = Q'' - Ql$$

$$\delta = \frac{Q}{U_2 R_2^2} = cte$$





ضرائب بی بعد

❖ ضریب قدرت:

❖ طبق معادله اولر داریم:

$$P'' = \rho g Q'' H'' \quad \longrightarrow \quad \frac{P''}{\rho U_2^3 R_2^2} = \frac{Q''}{U_2 R_2^2} \frac{g H''}{U_2^2} \quad \longrightarrow \quad \frac{P''}{\rho U_2^3 R_2^2} = cte$$

❖ در شرایط کاری مشابه تلفات دیسک‌های جانبی مشابه می‌باشند:

$$\frac{P_D}{\rho U_2^3 R_2^2} = cte$$



$$\pi = \frac{P'}{\rho U_2^3 R_2^2} = cte$$

$$P' = P'' - P_D$$

❖ پس برای دو پمپ هم‌تپ با شرایط کاری مشابه، ضرایب قدرت (بر حسب قدرت داخلی) یکسان می‌باشند.





ضرائب بی بعد

❖ راندمان:

❖ بازده داخلی بصورت روبرو تعریف می شود:

$$\eta_i = \frac{\rho g Q H}{P'} \quad \longrightarrow \quad \eta_i = \frac{\frac{Q}{U_2 R_2^2} \frac{g H}{U_2^2}}{\frac{P'}{\rho U_2^3 R_2^2}} \quad \longrightarrow \quad \boxed{\eta_i = \frac{\delta \psi}{\pi}}$$

❖ سمت راست برای پمپ‌های A و B مساوی می باشد. پس راندمان داخلی پمپ‌های هم تیپ A و B که شرایط کاری یکسان دارند، مساوی است.

❖ در عمل با قبول اندکی خطا، قوانین تشابه را می توان برای قدرت کل و بازده کل تعمیم داد..





قوانین تشابه

❖ قوانین رتو:

❖ با استفاده از تعریف ضرایب بی بعد:

$$\psi = \frac{g H}{U_2^2}, \quad \delta = \frac{Q}{U_2 R_2^2}, \quad \pi = \frac{P'}{\rho U_2^3 R_2^2}$$

❖ برای یک پمپ که در دورهای n_1 و n_2 کار می کند، زمانی که تشابه کاری وجود داشته باشد:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right), \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2, \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3$$

❖ برای یک پمپ سانتریفوژ که قطر خروجی از D_{2A} به D_{2B} در دور ثابت کاهش یابد (تراش

پروانه):

$$\frac{H_1}{H_2} \cong \left(\frac{D_{2A}}{D_{2B}} \right)^m \quad \text{and} \quad \frac{Q_1}{Q_2} \cong \left(\frac{D_{2A}}{D_{2B}} \right)^m$$

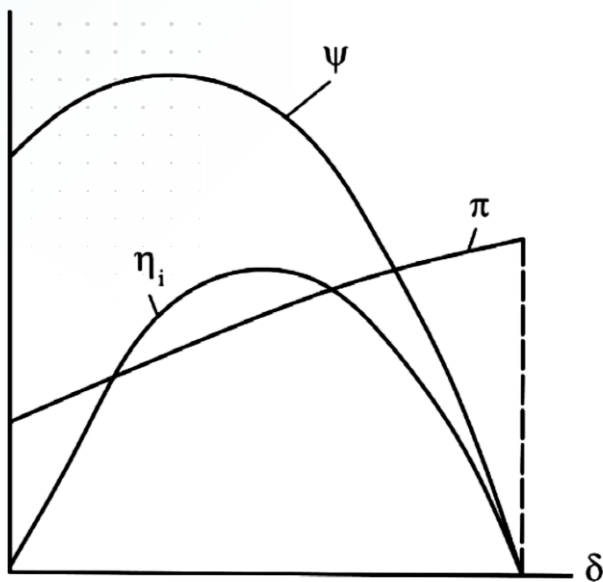
 $m = 2$ تا 3 $m = 2$ هنگامی که تراش پروانه مساوی یا بزرگتر از ۶٪ باشد $m = 3$ هنگامی که تراش پروانه مساوی یا کوچکتر از ۱٪ باشد



مشخصه‌های بی‌بعد

$$\psi = f_1(\delta) \quad \pi = f_2(\delta) \quad \eta_i = f_3(\delta)$$

❖ طبق قوانین تشابه، مشخصه‌های بی‌بعد تمام پمپ‌های که در یک فامیل هستند بر یکدیگر منطبق می‌شوند.



❖ با معلوم بودن مشخصه‌های بی‌بعد یک فامیل، هر مشخصه دلخواه از هر پمپ متعلق به آن فامیل با قطر و دور معلوم را می‌توان تعیین نمود.

❖ تنها شناخت دو مشخصه کافی است. زیرا:

$$\eta_i = \frac{\delta \psi}{\pi}$$





تعیین مشخصه‌های یک پمپ در دورهای مختلف

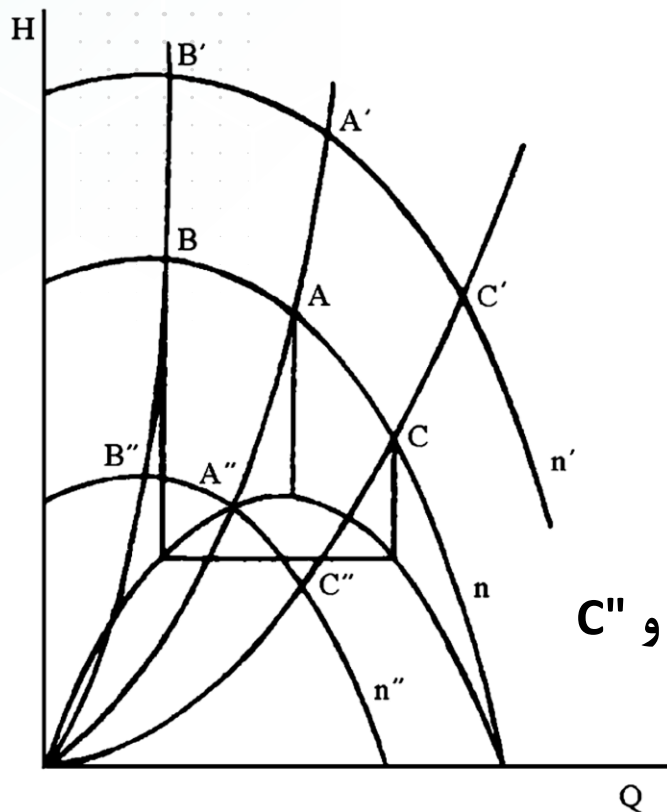
❖ با داشتن منحنی‌های مشخصه یک پمپ برای یک سرعت دورانی معلوم می‌توان منحنی‌های مشخصه آن را برای هر سرعت دورانی دلخواه دیگر بدست آورد.

❖ طبق قوانین تشابه داریم:

$$H'_A = \left(\frac{n}{n'}\right)^2 H_A \quad \text{and} \quad Q'_A = \left(\frac{n}{n'}\right) Q_A$$

❖ بطور مشابه می‌توان نقاط A' ، B' و C' را در سرعت دورانی بیشتر و نقاط A'' ، B'' و C'' را در سرعت دورانی کمتر بدست آورد.

❖ منحنی‌های بازده ثابت بصورت سهمی هستند.





تعیین تقریبی ارتفاع مانومتریک پمپ‌های سانتریفوژ

❖ در محدوده پمپ‌های متداول صنعتی، ضریب ارتفاع ψ در نقطه حداکثر بازده بین حدود ۰/۴۵ و ۰/۵۵ تغییر می‌نماید. با توجه به محدود؛ می‌توان قبول کرد که به‌طور متوسط:

❖ در سیستم واحد متریک:

$$\frac{g H}{U_2^2} = 0.5 \quad \longrightarrow \quad H = \frac{\left(\frac{\pi D_2 n}{60}\right)^2}{2g}$$

❖ قطر خارجی چرخ D_2 بر حسب سانتیمتر، n بر حسب دور در دقیقه و ارتفاع مانومتریک H بر حسب متر است.

$$H = \left(\frac{D_2 n}{8450}\right)^2$$





❖ ضرایب ارتفاع و دبی بی بعد را مجددا بصورت زیر بازنویسی می کنیم:

$$\psi = \frac{gH}{U_2^2} = \frac{gH}{R_2^2 \omega^2} \quad \text{and} \quad \delta = \frac{Q}{U_2 R_2^2} = \frac{Q}{R_2^3 \omega} \quad \longrightarrow \quad R_2 = \left(\frac{gH}{\psi \omega^2} \right)^{1/2} = \left(\frac{Q}{\delta \omega} \right)^{1/3}$$

❖ سمت چپ رابطه برای کلیه پمپ های از یک فامیل که در شرایط

مشابه کار می کنند، برابر است.

$$\delta \left(\frac{g}{\psi} \right)^{3/2} = \frac{\omega^2 Q}{H^{3/2}} \quad \boxed{\omega \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} = Cte}$$

❖ سرعت مخصوص یک پمپ عبارت است از سرعت دورانی از همان

فامیل که ارتفاع مانومتریک واحد را در دبی واحد تولید کند.

$$\omega_s^{1/2} \frac{1}{H^{3/4}} = \omega \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}}$$

$$\omega_s = \omega \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} \quad n_s = n \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}}$$

$$\boxed{n_s = n(\text{rpm}) \frac{\sqrt{Q(\text{m}^3/\text{s})}}{H^{3/4}(\text{m})}}$$

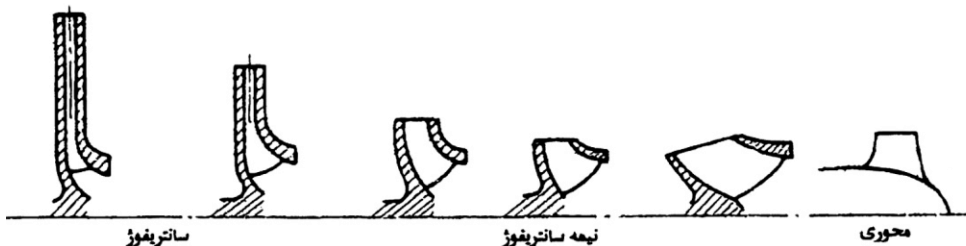
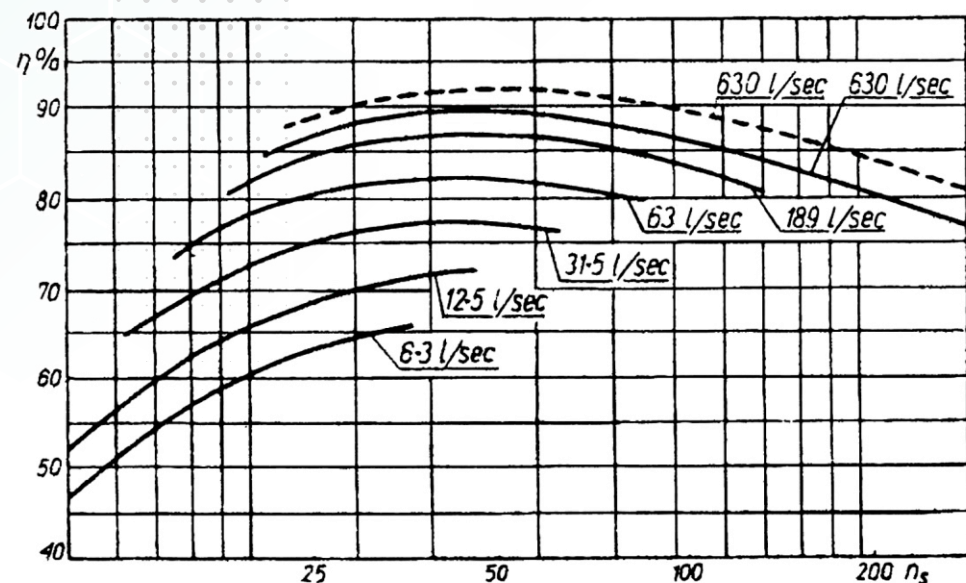
$$n_s \text{ (انگلیسی)} = \text{rpm} \frac{\sqrt{Q \text{ (GPM)}}}{H \text{ (ft)}}$$

$$n_s \text{ (English units)} = 51.6 n_s \text{ (Metric units)}$$





طبقه‌بندی پمپ‌ها



❖ با توجه به آن که سرعت مخصوص کلیه پمپ‌های یک فامیل یکسان است. آن را می‌توان به عنوان شاخص طبقه‌بندی پمپ‌ها تلقی کرد. (ضریب شکل).

❖ سرعت مخصوص با دبی تناسب مستقیم و با ارتفاع تناسب معکوس دارد. بنابراین در سرعت دورانی یکسان پمپ‌هایی که ارتفاع زیادی دارند (پمپ‌های سانتریفوژ) دارای سرعت مخصوص پایین می‌باشند.

❖ پمپ‌های که دبی زیاد دارند (پمپ‌های محوری)، دارای سرعت مخصوص بالا می‌باشند.

سپاس از توجه شما
