

Bölüm 3

Hidrolik Makinalarda Benzerlik, Özgül Hız ve Kademeli Pompa

- Bir makinenin modelini yapmak için modelin makineye ne şekilde benzeyeceği düşünülür.
- Bu benzerlik
 - **Geometrik**
 - **Kinematik** yönünden olmalıdır..
- **Geometrik** benzerlik (benzeşim) model ile **makinenin boyutları** arasında söz konusudur.
- **Kinematik** benzeşim ise **hızlarının oranının** aynı kalması anlamına gelir.
- Benzer makinelerin **verimleri aynı** olmalıdır ve **kuvvet dağılışları orantılı** olarak düşünülmelidir.
- Genel olarak makinelerde, **atalet, ağırlık, basınç** ve **viskozite** olarak 4 ayrı kuvvet vardır.

Hidrolik Makinalarda Benzerlik, Özgül Hız ve Kademeli Pompa

- Dönel makinelerde ağırlık ve atalet kuvvetleri önemli olarak **rol oynamaz**
- Model gerçek makineden **küçük** olacağından akışkanın viskozitesi ile ortaya çıkacak **sürtünme kayıpları** modelde **daha etkin rol** oynayacaktır.
- Modeller ana makineye geldiğinde bu etki azalacağından viskozite kuvvetlerinin rolü de fazla değildir. Asıl önemli olan **basınç kuvvetleridir**.
- Basınç kuvvetlerinin yayılışı **orantılı** olmalıdır.

Geometrik Benzeşim Şartı

$$\frac{L_A}{L_B} = \lambda$$

L_A : A makinesinin herhangi bir parçasının boyutu
 L_B : B makinesinde L_A' ya karşılık gelen parçanın boyutu

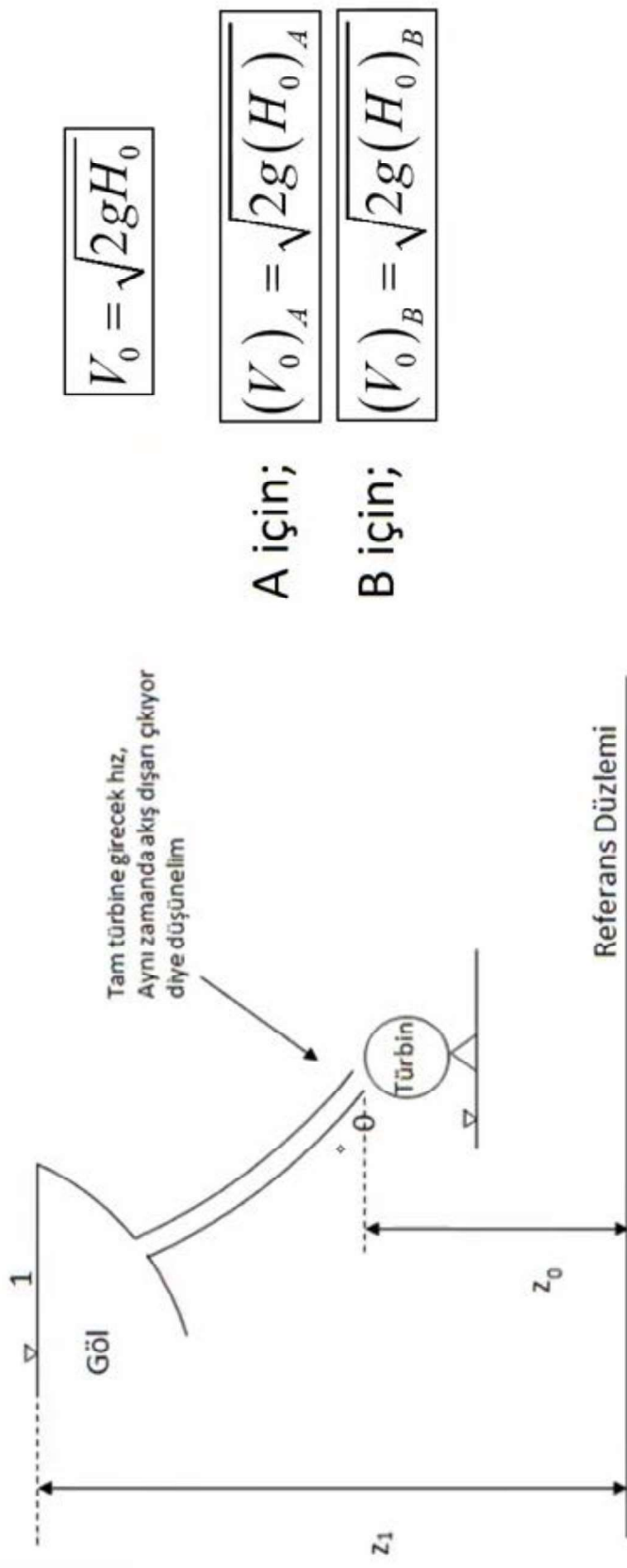
Kinematik Benzeşim Şartı

$$\frac{V_A}{V_B} = \mu$$

V_A : A makinesinin herhangi bir yeri için tanımlanan hız
 V_B : B makinesinin V_A' ya karşılık gelen hızı

Hidrolik Makinalarda Benzerlik, Özgül Hız ve Kademeli Pompa

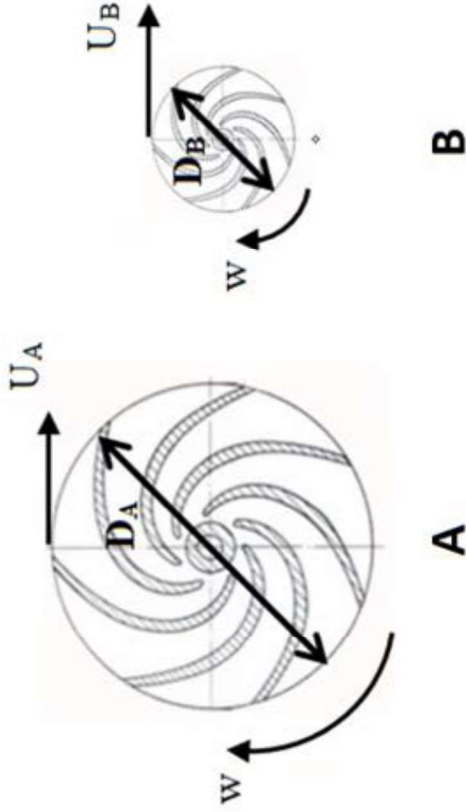
Net Düşüler Oranı [$(H_0)_A / (H_0)_B$]



$$\frac{(V_0)_A}{(V_0)_B} = \mu = \frac{\sqrt{2g(H_0)_A}}{\sqrt{2g(H_0)_B}} \rightarrow \mu = \left(\frac{(H_0)_A}{(H_0)_B} \right)^{1/2} \rightarrow \frac{(H_0)_A}{(H_0)_B} = \mu^2$$

Hidrolik Makinalarda Benzerlik, Özgül Hız ve Kademeli Pompa

Devir Sayılar Oranı $[n_A/n_B]$



$$\left. \begin{array}{l} U = w \cdot r \\ w = \frac{2\pi n}{60} \end{array} \right\}$$

$$U = \frac{2\pi n}{60} \cdot r = \frac{2\pi n}{60} \cdot \frac{D}{2} = \frac{\pi D n}{60}$$

n: devir/dk

A

B

$$U_A = \frac{\pi D_A n_A}{60}$$

$$U_B = \frac{\pi D_B n_B}{60}$$



$$\frac{U_A}{U_B} = \frac{\frac{\pi D_A n_A}{60}}{\frac{\pi D_B n_B}{60}} = \frac{D_A}{D_B} \cdot \frac{n_A}{n_B}$$

$$\frac{U_A}{U_B} = \frac{D_A}{D_B} \cdot \frac{n_A}{n_B}$$

$$\mu = \lambda \cdot \frac{n_A}{n_B}$$

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{\mu}{\lambda}$$

Hidrolik Makinalarda Benzerlik, Özgül Hız ve Kademeli Pompa

Debiler Oranı [Q_A/Q_B]

$$Q = V \cdot A = V \cdot \frac{\pi D^2}{4}$$

A

$$Q_A = V_A \cdot \frac{\pi D_A^2}{4}$$

B

$$Q_B = V_B \cdot \frac{\pi D_B^2}{4}$$

}

$$\frac{Q_A}{Q_B} = \frac{V_A \cdot \frac{\pi D_A^2}{4}}{V_B \cdot \frac{\pi D_B^2}{4}} = \frac{V_A}{V_B} \cdot \frac{D_A^2}{D_B^2}$$

μ

λ^2

$$\frac{Q_A}{Q_B} = \mu \cdot \lambda^2$$

Hidrolik Makinalarda Benzerlik, Özgül Hız ve Kademeli Pompa

Güçler Oranı [P_A/P_B]

Türbin için;

$$P_0 > P_{mil}$$

$$\eta = \frac{P_{mil}}{P_0} \Rightarrow P_{mil} = \eta \cdot P_0$$

$$P_{mil} = \eta \rho g H_0 Q$$

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{A} \quad P_A = \eta \rho g (H_0)_A Q_A \\ \mathbf{B} \quad P_B = \eta \rho g (H_0)_B Q_B \end{array} \right\} \quad \frac{P_A}{P_B} = \frac{\eta \rho g (H_0)_A Q_A}{\eta \rho g (H_0)_B Q_B} = \frac{(H_0)_A Q_A}{(H_0)_B Q_B}$$

$\mu^2 \quad \mu \cdot \lambda^2$

$$\frac{P_A}{P_B} = \mu^3 \lambda^2$$

Hidrolik Makinalarda Benzerlik, Özgül Hız ve Kademeli Pompa

ÖRNEK (1)

$$\begin{array}{l} H_0 = 10 \text{ m} \\ n = 380 \text{ d/dk} \\ P = 300 \text{ kW} \\ \lambda = 0.78 \end{array} \quad \left\{ \begin{array}{l} H'_0 = 7.5 \text{ m} \\ n' = ? \\ \dot{Q}' = ? \\ P' = ? \end{array} \right.$$

Net düşüşü 10m, devir sayısı 380d/dk ve gücü 300kW olan bir su santralinin verimi %78' dir. Bu türbini 7.5 net düşü ile çalıştırırsanız gereken debiyi, devir sayısını ve gücünü bulunuz.

$$\frac{H_0}{H'_0} = \frac{10 \text{ m}}{7.5 \text{ m}} = 1.333 = \lambda^2 \Rightarrow \lambda = 1.154 \rightarrow \text{kinematik benzerlik}$$

$\lambda = 1$ (türbin boyutları değiştirilmediği için) $\rightarrow$ geometrik benzerlik

Gereken debi ($\dot{Q}'$)

$$\frac{\dot{Q}}{\dot{Q}'} = \lambda^3 \lambda^2 = 1.154^3 \times (1)^2 \Rightarrow \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}'} = 1.54$$

Örnekli debi ($\dot{Q}$)'yi bulmak için;

$$P_{\text{mül}} = 759 H_0 \dot{Q} \Rightarrow \dot{Q} = \frac{P_{\text{mül}}}{759 H_0} = \frac{300 \times 10^3 \text{ W}}{0.78 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 10 \text{ m}}$$

$$\boxed{\dot{Q} = 3.32 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$\frac{\dot{Q}}{\dot{Q}'} = \frac{3.32 \text{ m}^3/\text{s}}{\dot{Q}'} = 1.54 \Rightarrow \boxed{\dot{Q}' = 3.40 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Devir sayısı (n')

$$\frac{n}{n'} = \frac{\lambda}{1} = \frac{1.154}{1} \Rightarrow \frac{380 \text{ d/dk}}{n'} = 1.154 \Rightarrow \boxed{n' = 329.29 \frac{\text{d}}{\text{dk}}}$$

Güç (P')

$$\frac{P}{P'} = \lambda^3 \lambda^2 \Rightarrow \frac{300 \text{ kW}}{P'} = (1.154)^3 (1)^2 \Rightarrow \boxed{P' = 195.21 \text{ kW}}$$

Hidrolik Makinalarda Benzerlik, Özgül Hız ve Kademeli Pompa

ÖRNEK (2)

$$\begin{array}{l} H_0 = 256 \text{ m} \\ Q = 2 \text{ m}^3/\text{s} \\ n = 1000 \text{ d/dk} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} H_0' = 177 \text{ m} \\ n' = ? \\ P' = ? \end{array} \right.$$

$$\frac{H_0}{H_0'} = \frac{256}{177} = \lambda^2 \Rightarrow \lambda = 1.20$$

$\lambda = 1$ (türbin boyutları değişmiyor.)

$$\frac{n}{n'} = \frac{\lambda}{\lambda} \Rightarrow \frac{1000 \text{ d/dk}}{n'} = \frac{1.20}{1} \Rightarrow \boxed{n' = 833.3 \text{ d/dk}}$$

$$P' = \rho g H_0' Q'$$

$Q' \rightarrow$ Turbinin gerektirdiği.

$$\frac{Q}{Q'} = \lambda^2 \Rightarrow \frac{2 \text{ m}^3/\text{s}}{Q'} = 1.20 \times (1)^2 \Rightarrow Q' = 1.67 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P' = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (177 \text{ m}) \left(1.67 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

$$\boxed{P' = 2899737.3 \text{ W} \approx 2.9 \text{ MW}}$$

Net düşüsü 256m olan bir su türbinin debisi $2 \text{ m}^3/\text{s}$ dir. Devir sayısı 1000d/dk olan bu türbinin 177m net düşüde, çalıştırmak istediğimizde türbinin yeni çalışma koşullarındaki devir sayısı ve suyun gücü nedir?

Hidrolik Makinalarda Benzerlik, Özgül Hız ve Kademeli Pompa

Pompalarda Karakteristik Değerlerinin Benzerlik Oranlarına Bağlı Değişimi

- Manometrik Yükseklikler Oranı [$(H_m)_A / (H_m)_B$]

$$\boxed{\frac{(H_m)_A}{(H_m)_B} = \mu^2}$$

- Devir Sayılar Oranı [n_A / n_B]

$$\boxed{\frac{n_A}{n_B} = \frac{\mu}{\lambda}}$$

- Debiler Oranı [Q_A / Q_B]

$$\boxed{\frac{Q_A}{Q_B} = \mu \cdot \lambda^2}$$

- Güçler Oranı [P_A / P_B]

$$\boxed{\frac{P_A}{P_B} = \mu^3 \lambda^2}$$

Hidrolik Makinalarda Benzerlik, Özgül Hız ve Kademeli Pompa

Tanım Sayısı (Özgül Hız) (n_q):

- Hidrolik makinelerde **çark tipini belirlemek** için kullanılan sayıya tanım sayısı ve özgül hız denir.
- A ve B gibi benzer pompalarda bağlantı bulalım.
- Manometrik yükseklik oranı

$$\frac{(H_m)_A}{(H_m)_B} = \mu^2 \Rightarrow \mu = \sqrt{\frac{(H_m)_A}{(H_m)_B}}$$

- Debiler Oranı

$$\frac{Q_A}{Q_B} = \mu \cdot \lambda^2 \Rightarrow \lambda = \sqrt{\frac{1}{\mu} \left[\frac{Q_A}{Q_B} \right]^{1/2}}$$

- Devir sayıları oranı

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{\mu}{\lambda} \Rightarrow \frac{n_A}{n_B} = \frac{\left[\frac{(H_m)_A}{(H_m)_B} \right]^{1/2}}{\left[\frac{(Q_A/Q_B)^{1/2}}{(H_m)_A/(H_m)_B} \right]^{1/4}} \Rightarrow \frac{n_A}{n_B} = \frac{\left[\frac{(H_m)_A}{(H_m)_B} \right]^{3/4}}{(Q_A/Q_B)^{1/2}}$$

Hidrolik Makinalarda Benzerlik, Özgül Hız ve Kademeli Pompa

Tanım Sayısı (Özgül Hız) (n_q):

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{[(H_m)_A / (H_m)_B]^{3/4}}{(Q_A / Q_B)^{1/2}}$$

A pompası

$$(H_m)_A = 1\text{m}$$

$$Q_A = 1\text{m}^3/\text{s}$$

$$n_A = n_q$$

B pompası

$$(H_m)_B = H_m$$

$$Q_B = Q$$

$$n_B = n$$

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{n_q}{n} = \frac{[1/H_m]^{3/4}}{(1/Q)^{1/2}} \Rightarrow n_q = n \frac{\sqrt{Q}}{(H_m)^{3/4}}$$

Herhangi bir pompanın **ölgül hızı** bu pompaya benzer olan basma **yükseklığı 1m** ve **debisi saniyede 1m³** olan pompanın optimum verimi sağlayabilmesi için dönmesi gereken **devir sayısıdır**.

n_q		
12 – 30	Tam merkezkaç	
30 – 60	Merkazkaç	
50 – 150	Yarı eksenel	
≥ 110	Eksenel	
		Pompa da çark tipleri

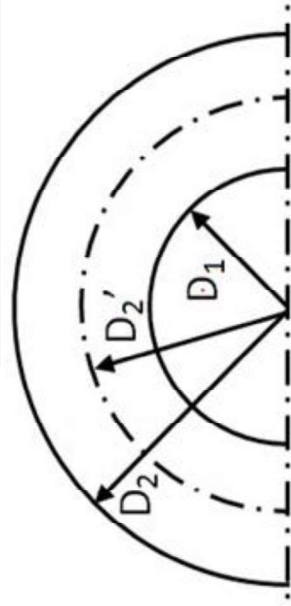
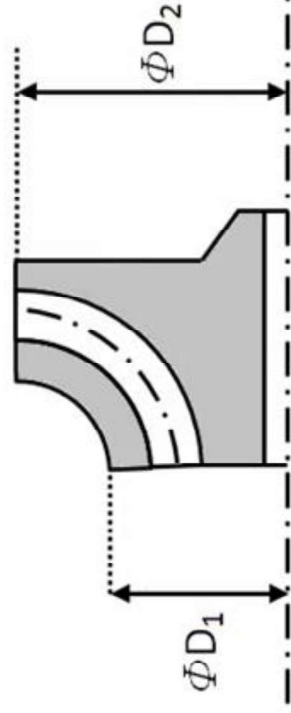
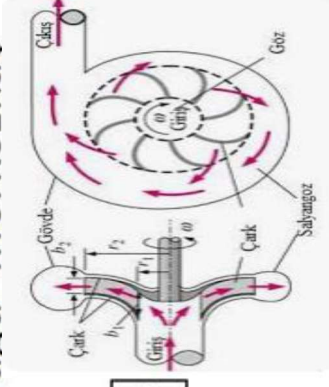
Hidrolik Makinalarda Benzerlik, Özgül Hız ve Kademeli Pompa

Merkezkaç Çark Tipi :

- Basma yüksekliği çark çıkış çapı ile doğru orantılı olduğundan ($\Phi D_2 \approx H_m$) D_2 çapı **arttıkça** basma yüksekliği **artar**.
- Özgül hız basma yüksekliği ile **ters orantılıdır**. Basma yüksekliği arttıkça özgül hızı azalır. Özgül hızın **düşük** olduğu merkezkaç tipinde D_2 çapı oldukça büyüktür.

$$n_q = n \frac{\sqrt{Q}}{(H_m)^{3/4}}$$

$$D_2 \uparrow H_m \uparrow n_q \downarrow$$



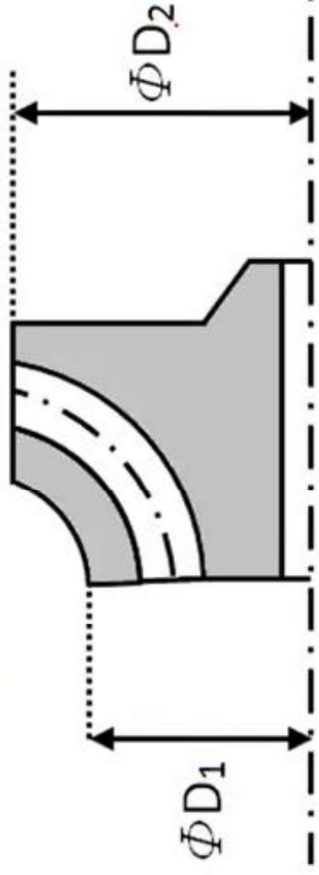
Hidrolik Makinalarda Benzerlik, Özgöl Hız ve Kademeli Pompa

Yarı Eksenel Çark Tipi :

- D_2 çapı küçülürse buna bağlı olarak basma yüksekliği azalır.
- Öyle bir D_2' çapına gelecektir ki D_2 ve D_2' çapları birbirine çok yaklaşmış ve araya gerekli kanatların yerleştirilmesi imkansız hale gelmiş olacaktır. Bu nedenle çark yarı ekseneldir.

$$n_q = n \frac{\sqrt{Q}}{(H_m)^{3/4}}$$

$$D_2 \downarrow \quad H_m \downarrow \quad n_q \uparrow$$



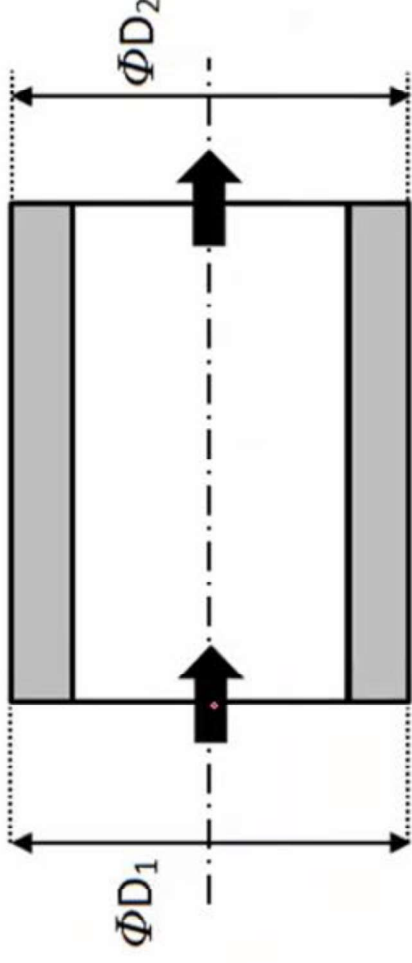
Hidrolik Makinalarda Benzerlik, Özgül Hız ve Kademeli Pompa

Eksenel Çark Tipi :

- D_2 çapının küçültülmesine devam edilirse, D_2 çapı D_1 çapına eşit olur.
- Akışkan parçacıklarının çarkta giriş ve çıkış çapları aynı kalır.

$$n_q = n \frac{\sqrt{Q}}{(H_m)^{3/4}}$$

$$D_2 \downarrow \quad H_m \downarrow \quad n_q \uparrow$$



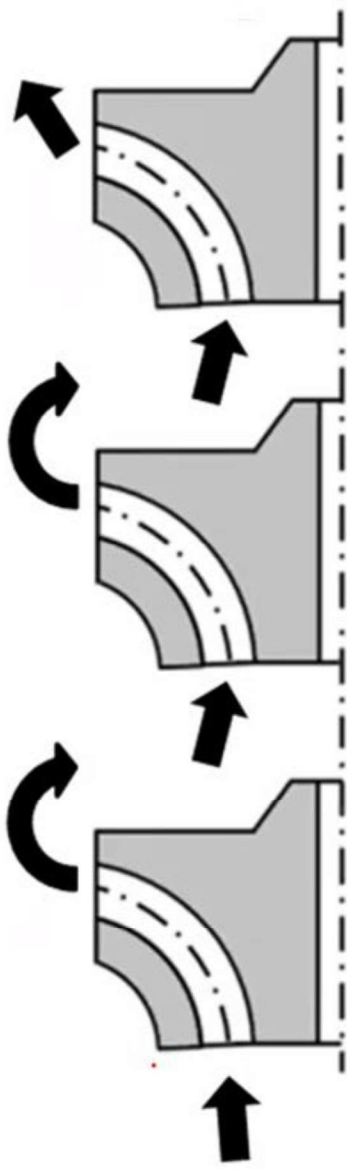
Hidrolik Makinalarda Benzerlik, Özgöl Hız ve Kademeli Pompa

Kademeli Pompa:

- Diğer taraftan basma yüksekliğinin artması özgöl hızı küçültür.

$$\boxed{D_2 \uparrow \quad H_m \uparrow \quad n_q \downarrow}$$

- Çok yüksek basma yüksekliklerinde D_2 çapı o kadar büyük olacaktır ki akış çok dar ve uzun kanallardan geçmek zorunda kalacaktır, çark ekonomik olmaktan çıkacaktır.
- Çark tanım sayısı (özgül hız) için kabul edilebilir en küçük değeri 10' dur. Özgöl hızın daha **küçük olduğu** hallerde pompa **kademeli yapılır**. **Çarklar aynı eksen** üzerinde şekilde görüldüğü gibi çizilir.



Hidrolik Makinalarda Benzerlik, Özgül Hız ve Kademeli Pompa

Kademeli Pompa:

Çoklu kademe

$$(n_q)_\zeta = n \frac{\sqrt{Q}}{\left(\frac{H_m}{i}\right)^{3/4}}$$

Tek kademe

$$(n_q)_p = n \frac{\sqrt{Q}}{(H_m)^{3/4}}$$

i : kademe sayısı

$$\left. \begin{aligned} \frac{(n_q)_\zeta}{(n_q)_p} &= \frac{n \frac{\sqrt{Q}}{\left(\frac{H_m}{i}\right)^{3/4}}}{n \frac{\sqrt{Q}}{(H_m)^{3/4}}} \Rightarrow \frac{(n_q)_\zeta}{(n_q)_p} = i^{3/4} \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_2 &= 100 \text{ m}^3/\text{saat} \\ H_m &= 50 \text{ m} \\ n &= 2500 \text{ d/dk} \\ P &= 100 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_2 &= 0.87 \dot{Q}_2 \text{ saat çıkış 90 pı} \\ n' &= 2500 \text{ d/dk} \\ H_m' &=? \\ \dot{Q}' &=? \\ P' &=? \\ n'q &=? \end{aligned}$$

ÖRNEK (3)

Bir pompanın debisi $100 \text{ m}^3/\text{saat}$ ve basma yüksekliği 50 m devir sayısı 2500 d/dk ve gücü 100 kW olarak veriliyor. Pompa çarkı D_2 tornaya girerek $\%87$ oranına küçültüldüğünde ve dönme sayısı da 2500 d/dk ya küçültüldüğüne göre pompa karakteristiklerini bulunuz.

Geometrik benzerlik bulunur:

$$\frac{D_2}{D_2} = \lambda \Rightarrow \frac{P_2}{0.87 D_2} = \lambda \Rightarrow \boxed{\lambda = 1.15}$$

Kinematik benzerlik bulunur:

$$\frac{n}{n'} = \frac{M}{\lambda} \Rightarrow \frac{2500 \text{ d/dk}}{2500 \text{ d/dk}} = \frac{M}{1.15} \Rightarrow \boxed{M = 1.334}$$

Basma yüksekliği bulunur:

$$\frac{H_m}{H_m'} = M^2 \Rightarrow \frac{50 \text{ m}}{H_m'} = (1.334)^2 \Rightarrow \boxed{H_m' = 28.1 \text{ m}}$$

Debisi bulunur:

$$\frac{\dot{Q}_2}{\dot{Q}_2'} = M^2 \Rightarrow \frac{100 \text{ m}^3/\text{saat}}{\dot{Q}_2'} = (1.334)(1.15)^2 \Rightarrow \boxed{\dot{Q}_2' = 56.7 \frac{\text{m}^3}{\text{saat}}}$$

Net güç bulunur:

$$\frac{P}{P'} = M^3 \lambda^2 \Rightarrow \frac{100 \text{ kW}}{P'} = (1.334)^3 (1.15)^2 \Rightarrow \boxed{P' = 31.8 \text{ kW}}$$

Özellik hızı bulunur:

$$n'q = n' \sqrt{\frac{\dot{Q}_2'}{H_m'}} \Rightarrow n'q = (2500 \text{ d/dk}) \sqrt{\frac{(56.7 \frac{\text{m}^3}{\text{saat}})}{(28.1)^{3/4}}} \Rightarrow \boxed{n'q = 25.6 \text{ d/dk}}$$

ÖRNEK (4)

$$\eta_Q \geq 12$$

$$H_m = 30 \text{ m}$$

$$Q = 2 \text{ lt/s}$$

$$n = 1450 \text{ d/dk}$$

Pompa yapımcısı bir firmada verim yüksek tutulmak isteniyor ve bu amaçla $\eta_Q \geq 12$ olması öneriliyor. Bu firmanın tasarladığı pompa verileri;

$$\begin{array}{l} H_m = 30 \text{ m} \\ Q = 2 \text{ lt/s} \\ n = 1450 \text{ d/dk} \end{array}$$

Bu pompa kendi başına yeterli midir?

$$\eta_Q = \eta \frac{\sqrt{Q}}{(H_m)^{3/4}} \Rightarrow \eta_Q = 1450 \frac{\sqrt{2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}}{(30 \text{ m})^{3/4}}$$

$$\eta_Q = 5.056 \text{ d/dk}$$

Pompanın yeterli olması için $\eta_Q \geq 10$ olması gerekir.

$\eta_Q = 5.056 < 10$ olduğundan pompa kendi başına yeterli değildir. Bundan dolayı, katkımeli pompa kullanılmaktadır.

$$\frac{(\eta_Q)_T}{\eta_Q} = i^{3/4} \Rightarrow \frac{12}{5.056} = i^{3/4} \Rightarrow i = 3.16$$

$i = 14 \rightarrow 4$ katkımeli pompa kullanılması