

2. TEMEL KAVRAMLAR

Hidrolik akım makineleri uygulamalarında kullanılan bilgiler özet halinde aşağıda verilmektedir.

$$1 \text{ BG [= HP, Beygir Gücü]} = 745.7 \text{ W}$$

$$1 \text{ PS [Metrik Beygir Gücü]} = 735.5 \text{ W}$$

$$1 \text{ kilokalori} = 4.19 \text{ kJ} \quad \text{metre su sütunu}$$

$$1 \text{ atm} \approx 0.981 \text{ bar} = 10 \text{ mSY [mSS]} \quad \text{metre su yüksekliği}$$

$$P = \rho g h$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}, \quad 1 \text{ atm} = 101325.01 \text{ Pa}, \quad 1 \text{ t} = 10^3 \text{ m}^3$$

$$\text{Akışkanın sıkıştırılabilirliği} \Rightarrow \text{Bulk Modül (K)} \rightarrow K = \frac{-dP}{\frac{dV}{V}}$$

$$\begin{array}{l} \text{S}_1 \text{ ————— } \text{S}_2 \approx \text{S}_1 \\ \dot{m}_1 \text{ ————— } \dot{m}_2 = \dot{m}_1 \\ Q_1 \text{ ————— } Q_2 = Q_1 \end{array}$$

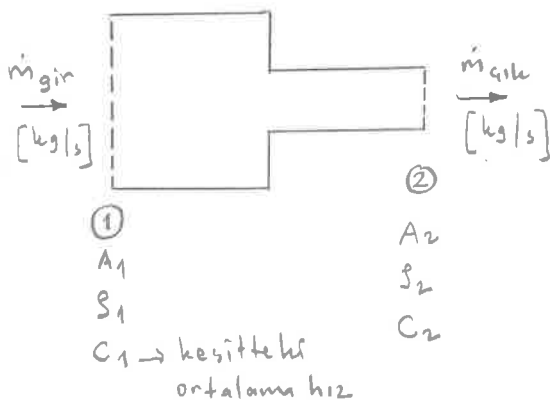
$$\dot{m} = \rho \cdot Q \cdot V \quad [Q = C \cdot A]$$

Akışkanın değişen sıcaklıkta birliktelik yoğunluğun değişince $Q_1 \neq Q_2$ olur.

2.1. Süreklilik Denklemi ve Enerji Denklemi

2.1.1. Süreklilik Denklemi (Kütlenin Korunumu Denklemi)

A_1 kesitinden A_2 kesitine akmakta olan daimi ve sıkıştırılamaz bir akışkan akışını dikkate alalım.



İlgili akış için kütle korunumu prensibi;

$$\sum \dot{m}_{gır} - \sum \dot{m}_{aık} = \frac{dm}{dt} \stackrel{70}{=} 0 \quad (\text{daimi akış için}) \quad \text{şeklinde yazılabilir.}$$

Tek giriş ve çıkışlı bir sistem için kütle korunumu prensibi;

$$\dot{m}_g - \dot{m}_a = 0 \quad (\text{sıkıştırılabilir akış durumu}) \quad \text{formuna indirgenir.}$$

$$\rho_1 \cdot C_1 \cdot A_1 - \rho_2 \cdot C_2 \cdot A_2 = 0$$

$$\rho_1 \approx \rho_2 \quad \text{olması durumunda (sıkıştırılamaz akış)}$$

$$C_1 \cdot A_1 - C_2 \cdot A_2 = 0 \Rightarrow Q_1 - Q_2 = 0$$

↳ hacimsel debi [m^3/s]

Burada sıkıştırılabilir akış durumunda kütleli debinin, sıkıştırılamaz akış durumunda ise hacimsel debinin dikkate alınacağı not edilmelidir. Dersimiz kapsamında bundan sonra debi olarak hacimsel debi esas alınacaktır.

2.1.2. Enerji Denklemi

Sıkıştırılamaz daimi ve sürtünmesiz bir ortam içerisinde birim akışkan kütle için enerji denklemi [Bernoulli denklemi - özel hal];

$$E = \frac{P}{\rho} + \frac{C^2}{2} + gz \quad [P: \text{toplam basınç} = \text{dinamik } b. + \text{statik } b.]$$

$\downarrow$
Bernoulli
sabit

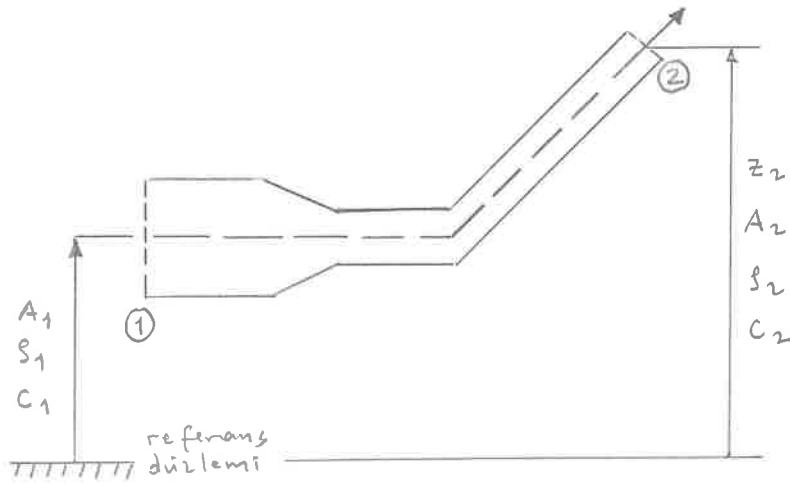
$\downarrow$
Basınç
enerjisi

$\downarrow$
kinetik
(hız)
enerjisi

$\downarrow$
Potansiyel
(durum)
enerjisi

Bernoulli Denklemi = Enerjisi denklemi [sürtünmesiz, uyguladığı istasyonlar arasında]
 ↳ Genelleştirilmiş Bernoulli Denklemi

Şekildeki borulama sisteminde 1 ve 2 nolu kesitler arasında enerji korunumu prensibi aşağıdaki gibi yazılabilir.



Enerjinin korunumu prensibi

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{C_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{C_2^2}{2g} + z_2 + h_{k(1-2)} \quad [mSS \text{ veya } mSY]$$

↳ yerel (lokal) kayıp + sürekli kayıp

Burada $h_{k(1-2)}$ akışkanın 1 nolu istasyondan 2 nolu istasyona gidene kadar sürekli kayıp ve dirsek, vana ve ani daralmadan meydana gelen yerel kayıplarının toplamını ifade etmektedir. Bu kayıplar ağırlık formunda;

$$h_{k(1-2)} = h_{\text{sürekli}} + h_{\text{yerel}} = \lambda \frac{L}{D} \frac{C^2}{2g} + K \frac{C^2}{2g}$$

$\lambda [=f]$: Darcy veya Moody sürtünme katsayısı, sürekli kayıp katsayısı
[Moody diagramından]

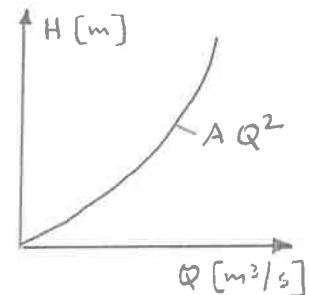
K : yerel eleman kayıp katsayısı

$$Q = C \cdot A = C \cdot \frac{\pi D^2}{4} \text{ olmak üzere } C = \frac{4Q}{\pi D^2} \text{ formunda dönüştürülebilir.}$$

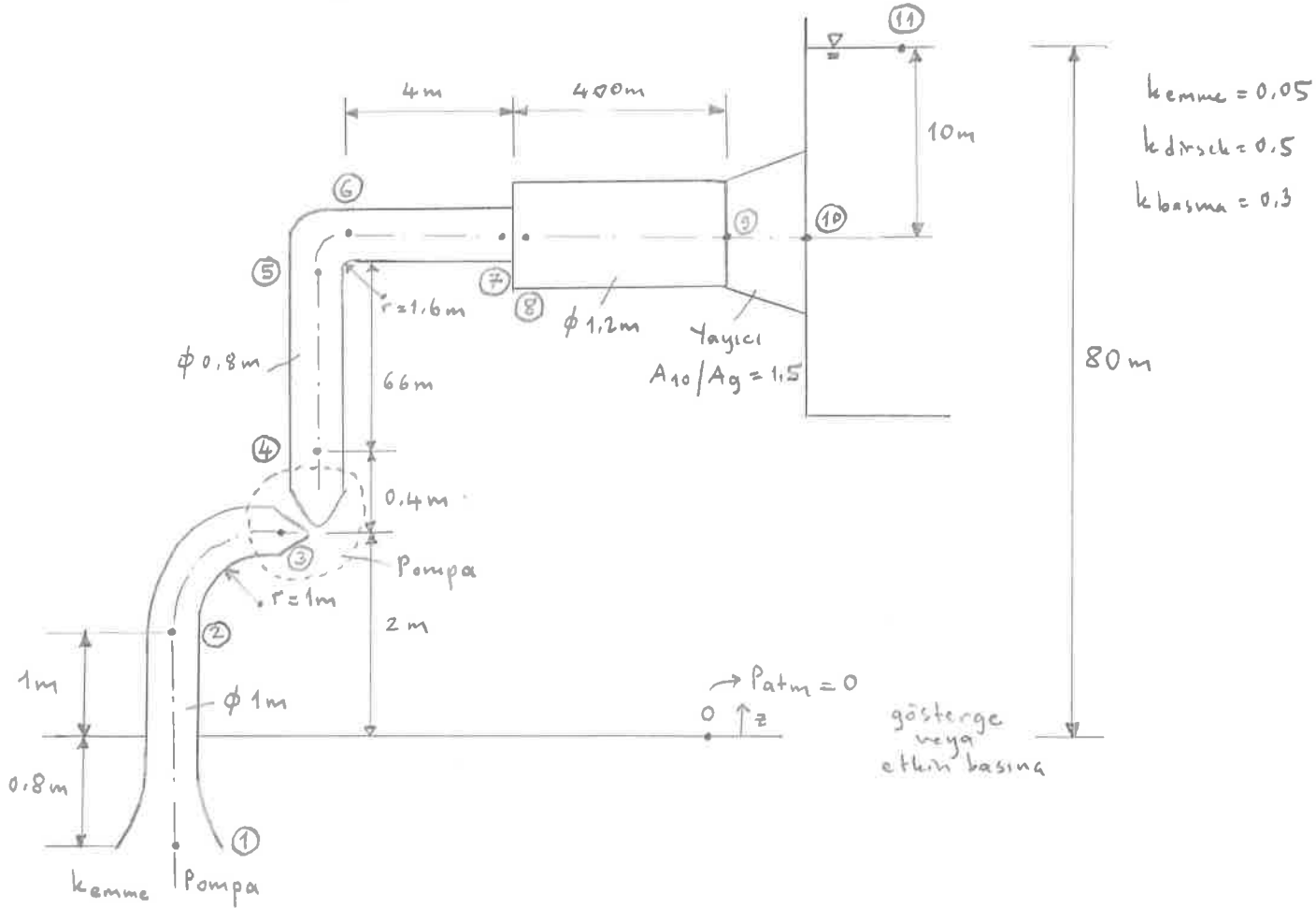
Bu eşitlik denkleme taşınırsa;

$$h_{k(1-2)} = \underbrace{\left[\frac{8\lambda L}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} + \frac{8K}{\pi^2 g D^4} \right]}_A \cdot Q^2 \quad \text{olarak dönüştürülebilir. Dikkat edilmesi} \\ \text{olursa eşitliğin sağ tarafında yer alan} \\ A \text{ karpası akış şartlarından bağımsızdır,}$$

O halde $h_{k(1-2)} = A \cdot Q^2$ formunda yazılabilir. Bu ilişki grafiksel formda verilmektedir. İlgili grafipte debinin artmasına bağlı olarak kayıp üstel formda arttığı görülmektedir.



ÖRNEK 2.1. Şekilde görüldüğü gibi bağlanan bir pompada emme ağzından üstteki 7 depoya kadar boru sisteminde meydana gelen basıncı kayıplarının belirlenmesi istenmektedir. Pompa debisi $Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$, bütün borulardaki sürekli yük kayıp katsayısı $\lambda = 0.018$, emme borusundaki giriş kayıp katsayısı (kemme) 0.05, emme tarafındaki dörsek kayıp katsayısı (k dörsek) 0.5, basma borusundaki dörsek kayıp katsayısı (k basma) 0.3 olarak verilmektedir. Sistemde yer alan yayıcının verimini 0.85 ne pompanın basma yüksekliği $H_m = 83 \text{ m SS}$ olduğuna göre (0-11) konumları arasında her bir istasyondaki basıncı bulunuz.



→ (0-1) arasında enerjinin korunumu prensibi uygulanırsa

$$\frac{P_0}{\gamma} + \frac{C_0^2}{2g} + z_0 = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{C_1^2}{2g} + z_1 + h_{k(0-1)}$$

$$0 + 0 + 0 = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{2.55^2}{2 \times 9.81} + (-0.8) + 0.017 \Rightarrow \frac{P_1}{\gamma} = 0.452 \text{ m SS}$$

$$\left[Q = C_1 \cdot \frac{\pi D_1^2}{4} \Rightarrow C_1 = \frac{4Q}{\pi D_1^2} = \frac{4 \times 2}{\pi \times 1^2} = 2.55 \text{ m/s} \right]$$

$$\left[h_{k(0-1)} = \lambda \frac{L}{D} \frac{C_1^2}{2g} + k_{\text{kemme}} \frac{C_1^2}{2g} = 0.018 \cdot \frac{2.55^2}{2 \times 9.81} = 0.017 \text{ m SS} \right]$$

sürekli kayıp
yolu

tam ①'de
yuvartatılmış bir
giriş var,

→ (1-2) arasında enerjinin korunumu prensibi uygulanırsa,

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{C_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{C_2^2}{2g} + z_2 + h_{k(1-2)}$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_1}{\gamma} + z_1 - z_2 - h_{k(1-2)} = 0,452 + (-0,8-1) - 0,01 \Rightarrow \frac{P_2}{\gamma} = -1,358 \text{ mss}$$

$$\left[\begin{array}{l} C_1 = C_2 \text{ (ayn. kesit)} \\ h_{k(1-2)} = \lambda \frac{L}{D} \frac{C_1^2}{2g} = 0,018 \times \frac{1,8}{1} \times \frac{2,55^2}{2 \times 9,81} = 0,01 \text{ mss} \end{array} \right]$$

→ (2-3) arasında enerjinin korunumu prensibi uygulanırsa,

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{C_2^2}{2g} + z_2 = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{C_3^2}{2g} + z_3 + h_{k(2-3)}$$

$$\frac{P_3}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} + (z_2 - z_3) - h_{k(2-3)}$$

$$\frac{P_3}{\gamma} = -1,358 + (1-2) - 0,166 = -2,527 \text{ mss}$$

$$\left[h_{k(2-3)} = K_{elme} \times \frac{C_1^2}{2g} = 0,5 \times \frac{2,55^2}{2 \times 9,81} = 0,166 \text{ mss} \right]$$

→ (3-4) arasında enerjinin korunumu prensibi uygulanırsa,

$$\frac{P_3}{\gamma} + \frac{C_3^2}{2g} + z_3 + \underset{\substack{\downarrow \\ h_{pompa}}}{H_m} = \frac{P_4}{\gamma} + \frac{C_4^2}{2g} + z_4 + h_{k(3-4)}$$

$h_{k(3-4)}$ diye birşey yok.
Bu pompanın verimi vardır.

$$\frac{P_4}{\gamma} = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{C_3^2 - C_4^2}{2g} + (z_3 - z_4) + H_m$$

$$\frac{P_4}{\gamma} = -2,527 + \frac{2,55^2 - 3,98^2}{2 \times 9,81} + (-0,4) + 83 = 79,597 \text{ mss}$$

$$\left[C_4 = \frac{4Q}{\pi D_4^2} = \frac{4 \times 2}{\pi \times 0,8^2} = 3,98 \text{ m/s} \right]$$

→ (4-5) arasında gerekli işlemler yapılırsa

$$\frac{P_4}{\gamma} + \frac{C_4^2}{2g} + z_4 = \frac{P_5}{\gamma} + \frac{C_5^2}{2g} + z_5 + h_k(4-5)$$

$$h_k(4-5) = \lambda \frac{L}{D_4} \frac{C_4^2}{2g} = 0,018 \frac{66}{0,8} \frac{3,98^2}{2 \times 9,81} = 1,199 \text{ mss}$$

$$\frac{P_5}{\gamma} = 79,597 + (-66) - 1,199 = 12,4 \text{ mss}$$

→ (5-6) arasında

$$\frac{P_5}{\gamma} + \frac{C_5^2}{2g} + z_5 = \frac{P_6}{\gamma} + \frac{C_6^2}{2g} + z_6 + h_k(5-6)$$

$$h_k(5-6) = \text{hidirlik} \frac{C_5^2}{2g} = 0,242$$

$$\frac{P_6}{\gamma} = 12,4 - 1,6 - 0,3 \times \frac{3,98^2}{2 \times 9,81} = 10,56 \text{ mss}$$

→ (6-7) arasında

$$\frac{P_6}{\gamma} + \frac{C_6^2}{2g} + z_6 = \frac{P_7}{\gamma} + \frac{C_7^2}{2g} + z_7 + h_k(6-7)$$

$$h_k(6-7) = \lambda \frac{L}{D} \frac{C_4^2}{2g} = 0,018 \cdot \frac{4}{0,8} \cdot \frac{3,98^2}{2 \times 9,81} = 0,073 \text{ mss}$$

$$\frac{P_7}{\gamma} = 10,56 - h_k(6-7) = 10,487 \text{ mss}$$

→ (7-8) arasında (ani genişleme)

$$\frac{P_7}{\gamma} + \frac{C_7^2}{2g} + z_7 = \frac{P_8}{\gamma} + \frac{C_8^2}{2g} + z_8 + h_k(7-8) \quad \text{maximum kayıp}$$

$k_{ag} = \frac{C_7^2}{2g}$

Ani genişleme için $k = \alpha \left[1 - \frac{A_{büyük}}{A_{küçük}} \right]^2$ α : kinetik enerji katsayısı

$\downarrow$
kayıp

$\alpha \approx 1$: türbülanslı
 $\alpha \approx 2$: laminar

$$k_{ag} = 1 \left[1 - \frac{(0,8)^2}{(1,2)^2} \right]^2 = 0,309$$

$$C_8 = \frac{4 \times 2^2}{\pi \times 1,2^2} = 1,77 \text{ m/s}$$

$$\frac{P_8}{\gamma} = 10,487 + \frac{3,98^2 - 1,77^2}{2 \times 9,81} - 0,309 \frac{3,98^2}{2 \times 9,81} \Rightarrow \frac{P_8}{\gamma} = 10,882 \text{ mss}$$

Ani genişlemede yerel kayıpta C_7 baz alınır, çünkü maximum kayıp katsayısı istenir. C_7 'de hız daha fazladır. Emniyetli olması için C_7 dikkate alınır.

Boru akışında hızlar büyük olduğun için genellikle türbülanslı akış için $\alpha = 1$ alınır.

büyük olan hız kullanılır.

→ (8-9) arasında,

$$h_{k(8-9)} = 0,018 \times \frac{400}{1,2} \times \frac{1,77^2}{2 \times 9,81} = 0,958 \text{ mss}$$

$$\frac{P_8}{\gamma} + \frac{C_8^2}{2g} + z_8 = \frac{P_9}{\gamma} + \frac{C_9^2}{2g} + z_9 + h_{k(8-9)}$$

$$\frac{P_9}{\gamma} = \frac{P_8}{\gamma} + (z_8 - z_9) + h_{k(8-9)} = 10,882 + (-0,958) = 9,924 \text{ mss}$$

→ (9-10) arasında,

$$h_{k,yayici} = (1 - \eta) \times \frac{C_9^2 - C_{10}^2}{2g} = (1 - 0,85) \times \frac{1,77^2 - 1,18^2}{2 \times 9,81} = 0,013 \text{ mss}$$

$$C_9 \cdot A_9 = C_{10} \cdot A_{10} \Rightarrow C_{10} = C_9 \cdot \frac{A_9}{A_{10}} = 1,18 \text{ m/s}$$

$$\frac{P_9}{\gamma} + \frac{C_9^2}{2g} + z_9 = \frac{P_{10}}{\gamma} + \frac{C_{10}^2}{2g} + z_{10} + \underbrace{h_{k,yayici}}_{\text{yayıcıdan kaynaklanan yerel kayıp}}$$

$$\frac{P_{10}}{\gamma} = 9,924 + \frac{1,77^2 - 1,18^2}{2 \times 9,81} + (-0,013) = 10 \text{ mss}$$

→ (10-11) arasında genelli işlemler yapılırsa

$$k_{ani-genelleme} = \alpha \left[1 - \frac{A_{kucuk}}{A_{Buyuk}} \right]^2 = 1 \times [1 - 0] = 1$$

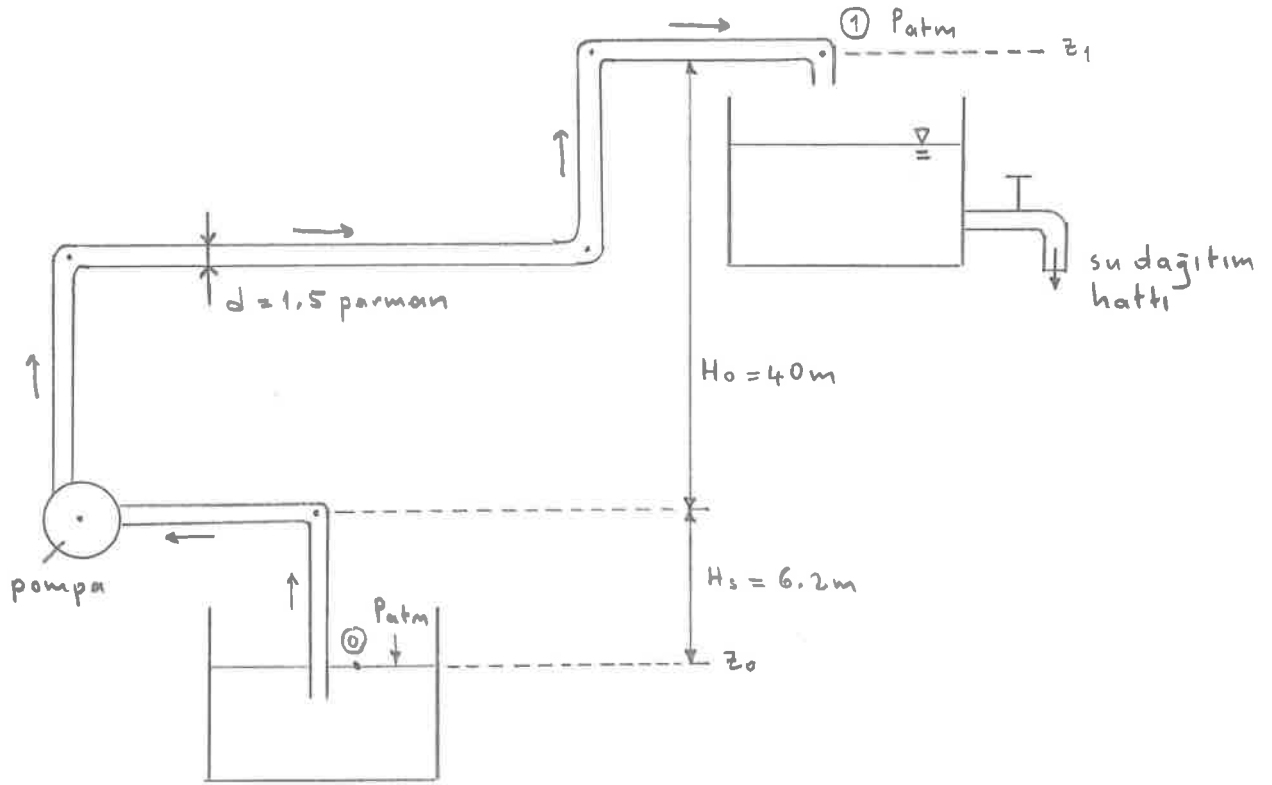
$$h_k = k_{ani-gen.} \cdot \frac{C_{10}^2}{2g} = 1 \cdot \frac{C_{10}^2}{2g} \quad [C_{11} \rightarrow \text{yok zaten}]$$

$$\frac{P_{10}}{\gamma} + \frac{C_{10}^2}{2g} + z_{10} = \frac{P_{11}}{\gamma} + \frac{C_{11}^2}{2g} + z_{11} + h_{k(10-11)}$$

o ← geniş yörney

$$\Rightarrow \frac{P_{11}}{\gamma} = \frac{P_{10}}{\gamma} + (z_{10} - z_{11}) = 10 + (-10) = 0$$

ÖRNEK EK.1. Şekilde görülen pompa bir kuyudan su emerek depoya basmaktadır. Depodan itibaren su, yerçekimi etkisi altında mahalloya dağıtılacaktır. $H_s = 6.2\text{m}$, $H_o = 40\text{m}$, $L = 68\text{m}$, boru çapı $D = 1.5$ parmak, $Q = 4.8\text{ m}^3/\text{h}$ ve pompanın verimi (genel verim) $\eta_g = 0.62$ 'dir. Devrede 5 dirsek vardır. Devredaki kayıpları dikkate alarak pompayı çalıştırmak için gerekli olan motor gücünü bulunuz. ($k_d = 1.07$ alınacaktır. Boru pürüzsüz kabul edilecektir.)



(0-1) noktaları arasında enerji dengesi,

$$\frac{P_0}{\rho g} + \frac{C_0^2}{2g} + z_0 + H_m = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{C_1^2}{2g} + z_1 + h_{k(0-1)} \quad (1)$$

$$h_{k(0-1)} = h_{k,yerel} + h_{k,sürekli}$$

$$h_{k,yerel} = K \frac{C_1^2}{2g}, \quad h_{k,sürekli} = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{C_1^2}{2g}$$

① nolu eşitlikten manometrik yükseklik çekilirse,

$$H_m = \frac{P_1 - P_0}{\rho g} + \frac{C_1^2 - C_0^2}{2g} + (z_1 - z_0) + h_{k(0-1)} \quad (2)$$

$P_0 = P_{atm}$ ve $P_1 \approx P_{atm}$, $C_0 \approx 0$ olarak dikkate alınıp (2) eşitliği tekrar düzenlenirse,

$$H_m = \frac{C_1^2}{2g} + (z_1 - z_0) + h_{k(0-1)} \quad (3)$$

denklemin elde edilir.

$$D = 1,5 \text{ parmak} = 1,5 \times (25,4 \text{ mm}) = 38,1 \text{ mm}$$

$$D = 38,1 \text{ mm}$$

Hacimsel debi eşitliği kullanılarak boru kesitindeki hız, C_1

$$Q = C_1 \cdot A \Rightarrow C_1 = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \times (4,8/3600)}{\pi (0,0381)^2} = 1,169 \text{ m/s} \text{ olarak belirtilir.}$$

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu} \rightarrow \text{Burada } \nu, \text{ kinematik viskoziteyi ifade etmektedir. Değeri, } T = 20^\circ\text{C için ilgili su tablolarından } \nu = 1,011 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \text{ olarak okunur}$$

$$Re = \frac{1,169 \times 0,0381}{1,011 \times 10^{-6}} = 4,4 \times 10^5 > 2300 \rightarrow \text{Akış TÜRBÜLANSLIDIR,}$$

$$\frac{\epsilon}{D} = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{pürüzsüz boru} \\ \text{Moody diyagramından } \lambda = 0,021 \text{ okunur,} \end{array} \right.$$

$$h_{k, \text{ sızdı} } = \lambda \frac{L}{D} \frac{C_1^2}{2g} = 0,021 \times \frac{68}{0,0381} \cdot \frac{(1,169 \text{ m/s})^2}{(2 \times 9,81 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_{k, \text{ sızdı} } = 2,61 \text{ mss}$$

(0-1) noktaları arasında 5 dirsek yer almaktadır.

$$h_{k, \text{ yerel} } = 5 K_g \cdot \frac{C_1^2}{2g} = 5 \times 1,07 \cdot \frac{1,169^2}{2 \times 9,81} = 0,373 \text{ mss}$$

$$h_{k, \text{ yerel} } = 0,373 \text{ mss}$$

Elde edilen değerler ③ eşitliğine taşınarak, H_m

$$H_m = \frac{C_1^2}{2g} + (z_1 - z_2) + h_{k(0-1)} = \frac{1,169^2}{2 \times 9,81} + (40 + 6,2) + 2,61 + 0,373$$

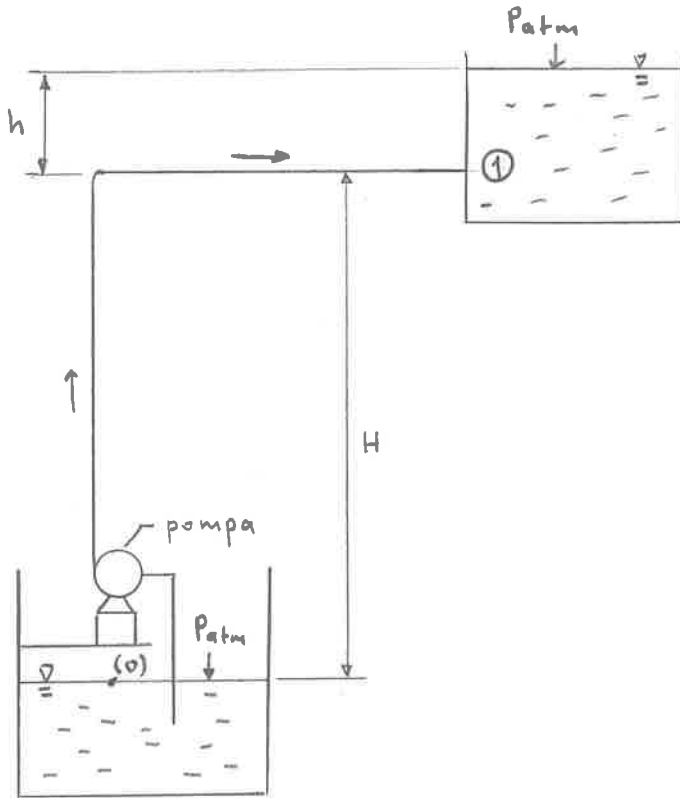
$$H_m = 49,25 \text{ mss}$$

$$N_{ef} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_m}{\eta_g} = \frac{1000 \times 9,81 \times (4,8/3600) \times 49,25}{0,62}$$

$$N_{ef} = 1039 \text{ W} = 1,039 \text{ kW} = 1,41 \text{ BG}$$

Elektrik motorları standart güçte imal edildiklerinden $N = 1,5 \text{ BG}$ motor tercih edilir.

ÖRNEK EK 2. Bir derin kuyu su pompası ile $H = 100\text{m}$ derinden su alınıp bir depoya basılmaktadır. Pompaya bağlı elektrik motorunun gücü bir Wattmetre ile $N_{ef} = 40\text{BG}$ olarak ölçülüyor. $\eta_g = 0.62$, $D = 10\text{cm}$, $L_b = 136\text{m}$, $h = 2.4\text{m}$ 'dir. Sürtünme faktörünü (üniversel kayıp katsayısını), $\lambda = 0.03$ olarak pompanın sağladığı su debisini hesaplayınız.



(0-1) noktası arasında enerji denklemi

$$\frac{P_0}{\rho g} + \frac{C_0^2}{2g} + z_0 + h_m = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{C_1^2}{2g} + z_1 + h_{k(0-1)}$$

Devredeki yerel kayıplar ihmal edilirse,

$$h_{k(0-1)} = \lambda \frac{L}{D} \frac{C_1^2}{2g} \quad \text{denklemi ile belirlenir,}$$

$$P_0 = P_{atm} \quad \text{ve} \quad P_1 = P_{atm} + \rho g h \quad \text{olmak üzere} \quad U_0 \approx 0$$

$$h_m = h + \frac{C_1^2}{2g} + H + \lambda \frac{L}{D} \frac{C_1^2}{2g}$$

denklemi elde edilir.

Değer yerine tatınarak denklem düzenlenirse,

$$H_m = 2.4 + \frac{C_1^2}{2 \times 9.81} + 100 + 0.03 \times \frac{136}{0.1} \times \frac{C_1^2}{2 \times 9.81}$$

$$H_m = 102.4 + 2.13048 C_1^2 \quad \text{denklemi elde edilir.}$$

$$1 \text{ BG} = 736 \text{ W}$$

$$N_{ef} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_m}{\eta_g} = 40 \text{ BG} = 29440 \text{ W}$$

$$\Rightarrow Q \cdot H_m = 1860.63$$

$Q \times H_m$ ifadesi açık formda yazılırsa,

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \times C_1 = \frac{\pi \times (0.1)^2}{4} \times C_1 = 0.007854 C_1$$

$C_1 = Q / 0.007854$ değeri $Q \times H_m$ eşitliğine tatınırsa

$$Q \times H_m = Q \times (102.4 + 2.13048 \cdot (Q / 0.007854)^2) = 1860.63$$

$$Q \times (102.4 + 34538 \times Q^2) = 1860.63$$

Yukarıdaki denklem itiratif bir yaklaşımla çözümlenir,

$$Q = 0.02 \text{ m}^3/\text{s} \text{ alınırsın} \rightarrow 2324.304 \neq 1860.63$$

$$Q = 0.0166 \text{ m}^3/\text{s} \quad " \quad \rightarrow 1857.83 \neq 1860.63 \leftarrow \text{çok YAKIN}$$

$$Q = 0.01662 \text{ m}^3/\text{s} \quad " \quad \rightarrow 1860.4 \neq 1860.63$$

Böylece pompa debisi çok küçük hatla ile

$$Q = 0.01662 \text{ m}^3/\text{s} \text{ olarak bulunur,}$$

2.2. Hidrolik Makinaların Ana Çalışma Verileri

2.2.1. Hacimsel Debi

2.2.2. Kütleli Debi

2.2.3. Özgül Enerji (Özgül Kademe Enerjisi)

Hidrolik akım makinaları çoğunlukla tek kademeli olmalarına rağmen özellikle su pompalarında çok kademeli (çok sayısı) olanlarda vardır. Genel olarak su türbinleri veya su pompalarında giriş ve çıkış arasında sudan alınan veya suya bırakılan enerjiye özgül enerji (Y) adı verilir. Pratikte ise bu tanımlama su türbinlerinde düşü (H_0), su pompalarında manometrik yükseklik (H_m) ile temsil edilir. Özgül enerji birimi J/kg veya m^2/s^2 'dir. Pratikte ise hem düşü hem de manometrik yükseklik için metre ifadesi kullanılır. İlerleyen derslerde özgül enerjinin pompa ve türbinler için elde edilmesi detaylı incelenecektir.

2.2.4. Güç

Hidrolik akım makinalarında veya daha yalın bir ifadeyle su makinalarında güç türbin milinden alınan veya pompa miline aktarılan fiziksel büyüklük olarak aktarılır. Pompa ve türbinlerde güç açık formda;

$$P = \dot{m} \cdot Y \cdot \overset{\text{verim}}{\eta}_{\text{türbin}} \quad [\text{su türbinlerinde}]$$

$$P = \frac{\dot{m} \cdot Y}{\underset{\text{genel verim}}{\eta}_{\text{pompa}}} \quad [\text{pompalarda}]$$

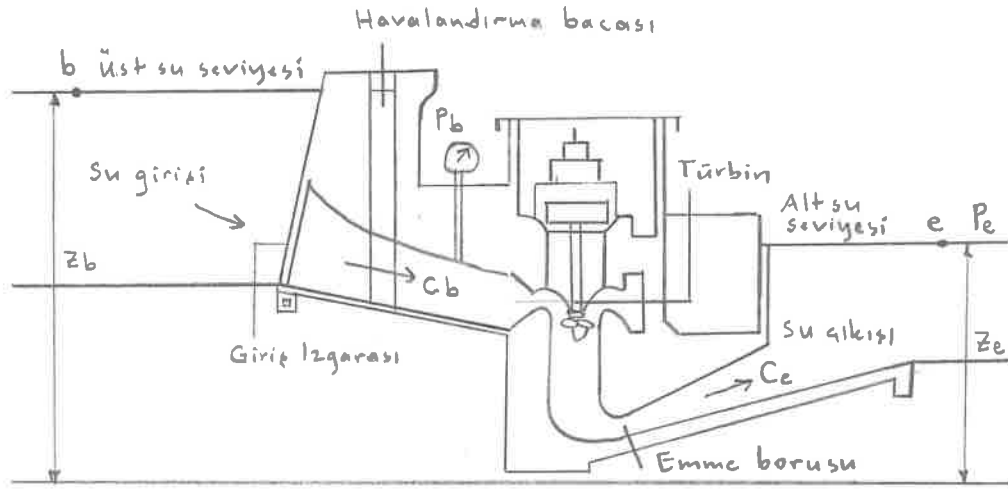
şeklinde dir. Kesitten birim zamanda geçen birim ağırlıktaki sıvının enerjisi özgül enerji olarak tanımlanmaktadır.

2.2.5. Hidrolik Akım Makinalarında Özgül Enerji Tanımı

Bu bölümde sırasıyla su türbinlerinde ve pompalarında özgül enerji ifadeleri elde edilecektir.

2.2.5.1. Su Türbinleri

Şekil 2.1'de yüksek debi ve düşük düşüler için tercih edilen bir kaplan tipi su türbininin şematik resmi verilmektedir.



Şekil 2.1. Su türbini giriş ve çıkışının şematik görüntüsü

z_b : Basma kademesinin kotu (m)

P_e : Çıkış kademesindeki basınç (N/m^2)

C_b : Giriş kademesi ortalama hızı (m/s)

z_e : Emme kademesinin kotu (m)

P_b : Giriş kademesindeki basınç (N/m^2)

C_e : Emme borusundaki ortalama hız (m/s)

Su türbinlerinin basma ve emme kademeleri arasında [b-e] enerjinin korunum ilkesi uygulanırsa;

$$g \cdot z_b + \frac{P_b}{\rho} + \frac{C_b^2}{2} = g \cdot z_e + \frac{P_e}{\rho} + \frac{C_e^2}{2} + Y \quad \text{J/kg veya } m^2/s^2$$

Burada Y , sudan alınan enerjiyi (özellik enerjisi) ifade etmektedir. Özellikle enerji farklı bir formda düzenlenirse;

$$Y = g(z_b - z_e) + \frac{P_b - P_e}{\rho} + \frac{C_b^2 - C_e^2}{2} \quad (m^2/s^2) \quad \text{elde edilir.}$$

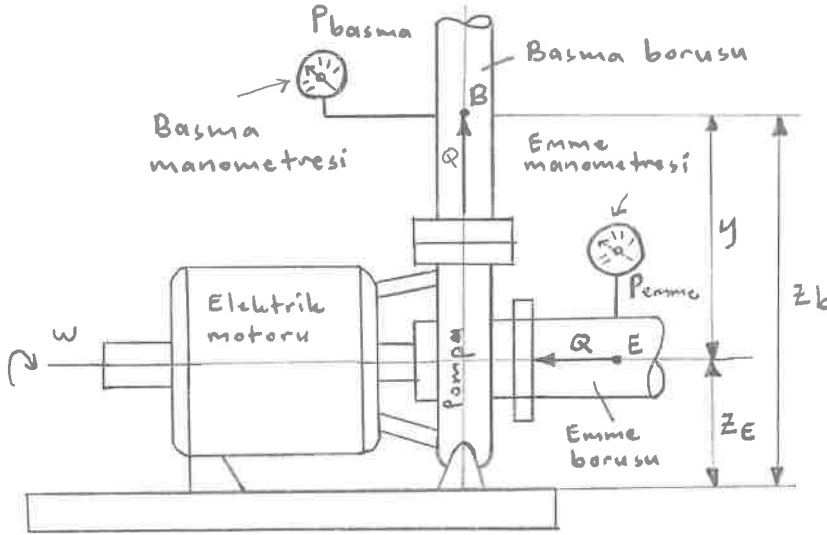
Su türbinlerinde genel olarak düşü (H_o) tanımı kullanılır. Düşü ile özellik enerji arasında;

$$Y = g \cdot H_o$$

$$H_o = \frac{Y}{g} \quad (m) \quad \text{ilişkisi geçerlidir.}$$

2.2.5.2. Su Pompaları

Şekil 2.2'de bir santrifüj su pompasına ait emme ve basma kademeleri şematik olarak verilmektedir.



Şekil 2.2. Emme ve basma kademeleri ile bir pompanın şematik görüntüsü

P_b : Basma kademesindeki basınç (N/m^2)

P_e : Emme kademesindeki basınç (N/m^2)

C_b : Giriş kademesi ortalama hızı (m/s)

C_e : Emme borusundaki ortalama hız (m/s)

Y : Basma ve emme kademesi arasındaki fark ($z_b - z_e$) (m)

Emme ve basma kademeleri arasında [e-b] enerjinin korunumu ilkesi uygulanırsa

$$g \cdot z_e + \frac{P_e}{\rho} + \frac{C_e^2}{2} + Y = g \cdot z_b + \frac{P_b}{\rho} + \frac{C_b^2}{2}$$

Burada Y , suya aktarılan enerjiyi ifade etmektedir. Benzer bir şekilde özgül enerji farklı bir formda;

$$Y = g (z_b - z_e) + \frac{P_b - P_e}{\rho} + \frac{C_b^2 - C_e^2}{2} \quad [m^2/s^2] \text{ elde edilir.}$$

Pompalarda genel olarak manometrik yükseklik tanımı kullanılır. Manometrik yükseklik ile özgül enerji arasında;

$$H_m = \frac{Y}{g} \quad (m \text{ veya } mss) \text{ ilişkisi geçerlidir.}$$

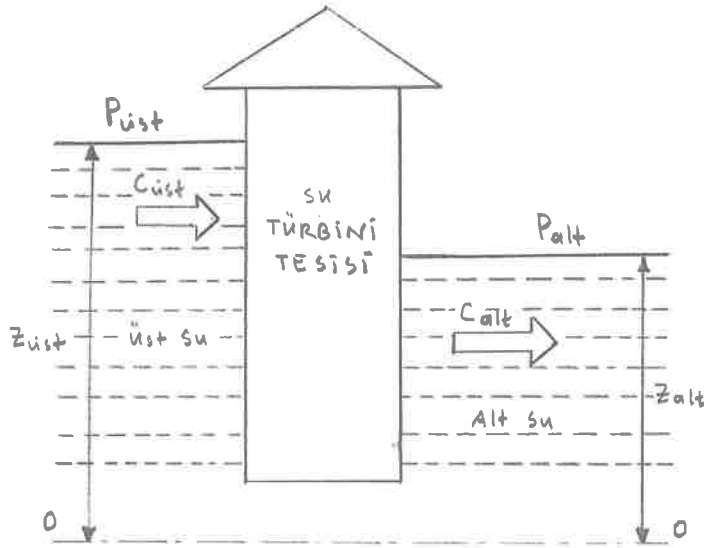
2.3. Hidrolik Tesislerde Özgül Enerji Tanımı

2.3.1. Su Türbini Tesis

Şekil 2.3'te verilen su türbini tesis için özgül enerji ifadesi;

$$Y = g(z_{üst} - z_{alt}) + \frac{P_{üst} - P_{alt}}{\rho} + \frac{C_{üst}^2 - C_{alt}^2}{2} - E_{sürt.}$$

Burada $E_{sürt.}$, türbin tesisinde yer alan ızgara, dirsek, vana vb. elemanlarda meydana gelen lokal kayıp ve boru sisteminde oluşan sürekli kayıpların toplamını ifade etmektedir.



Şekil 2.3. Su türbini tesis

$z_{üst}$; Üst su seviye kotu (m)

z_{alt} ; Alt su seviye kotu (m)

$P_{üst}$; Üst su seviyesindeki hava basıncı (N/m^2)

P_{alt} ; Alt su seviyesindeki hava basıncı (N/m^2)

$C_{üst}$; Üst su seviyesindeki giriş hızı (m/s)

C_{alt} ; Alt su seviyesindeki çıkış hızı (m/s)

İlgili eşitlikte $P_{üst} - P_{alt}$ (yüksek düşülen basınç) ve $C_{üst}$ ve C_{alt} küçük olduğundan ihmal edilirse özgül enerji büyük bir yaklaşıklıkla;

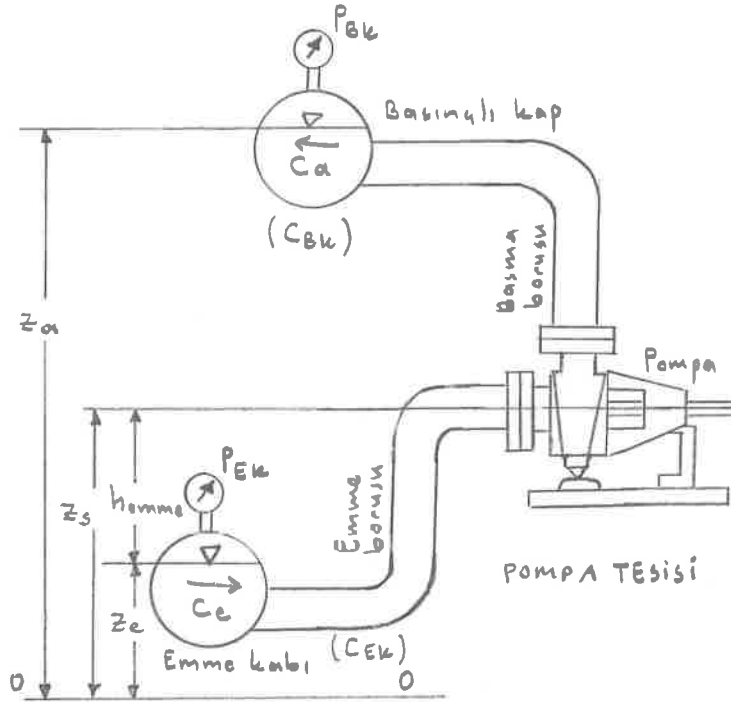
$$Y \approx g(\overbrace{z_{üst} - z_{alt}}^{\text{kot farkı}}) - E_{sürt.} \quad [m^2/s^2] \text{ olarak elde edilir.}$$

Su türbini tesislerinde $z_{üst} - z_{alt}$ brüt düşü veya geometrik yükseklik olarak tanımlanır ve $H_{brüt}$ veya H_{geo} olarak gösterilir. Cebri borularda meydana gelen kayıplar $E_{sürt.}$ olmak üzere bir su türbini için net düşü;

$$H_o \approx H_{brüt} - h_k(b-e) \quad [mss] \text{ formunda düzenlenebilir.}$$

2.3.2. Pompa Tesis

Şekil 2.4'te pompa tesis şematik resmi verilmiştir.



Şekil 2.4. Pompa tesisinin şematik görüntüsü

Z_a : Üst su seviyesi kotu (m)

Z_e : Alt su seviyesi kotu (m)

P_{Bk} : Basınçlı kaptaki basınç (N/m^2)

P_{Ek} : Emme kabındaki basınç (N/m^2)

C_{Bk} : Basınçlı kabın giriş hızı (m/s)

C_{Ek} : Emme kabındaki çıkış hızı (m/s)

Pompa tesis için özgül enerji;

$$Y = g(Z_a - Z_e) + \frac{P_{Bk} - P_{Ek}}{\rho} + \frac{C_{Bk}^2 - C_{Ek}^2}{2} + E_{sürt.}$$

denklemlerle belirlenir. Burada $E_{sürt.}$ kavramı, boru sistemindeki sürekli ve yerel kayıpları ifade etmektedir, Emme kabı ve basınçlı kaptaki hızların çok küçük olduğu kabul edilirse;

$$Y \cong g(Z_a - Z_e) + \frac{P_{Bk} - P_{Ek}}{\rho} + E_{sürt.}$$

formunda düzenlenebilir. Böylece pompa tesisine ait manometrik yükseklik;

$$H_m \cong H_{geo} + \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} + \frac{E_{sürt.}}{g} \quad (= h_k(e-a))$$

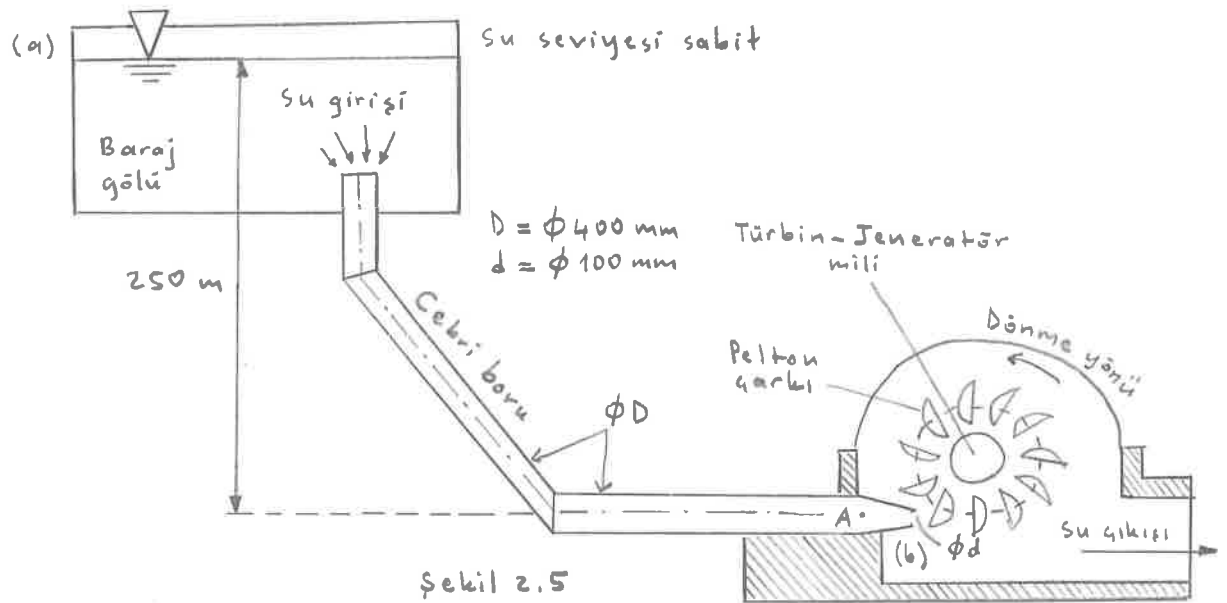
ÖRNEK 2.2. Şekil 2.5'te şematik resmi verilen bir hidroelektrik tesisinde A konumundaki püskürtücüye (lüle) kadar uzanan cebri borunun çapı $D = 400 \text{ mm}$ 'dir. Sistemde iki adet dirsek ($k_d = 2$) yer almaktadır. Basıncılı borudaki (cebri boru) sürekli kayıp için $\lambda \cdot \frac{L}{D} = 4$ ilişkisi geçerlidir. Lüle çıkış çapı $d = 100 \text{ mm}$ ve yersel kaybı $k_{lül} = 0.1$ ve geometrik yükseklik (brüt düşü) $H_{geo} = 250 \text{ m}$ olduğuna göre

a) Tüm kayıplar göz önünde bulundurulduğunda lüleden çıkan suyun hızını ve türbinin net düşüsünü bulunuz.

b) A konumundaki basıncı ve sistemin kütsel debisini bulunuz.

c) Pelton türbininin genel verimi $\eta = 0.9$ olduğuna göre türbinin mil gücünü bulunuz.

(Hesaplarda $\rho_{su} = 1000 \text{ kg/m}^3$ olarak alınacaktır.)



* Barajlarda mümkün olduğunca derin ve havaya temas eden alanın dar olması gerekir.

a) Su üst seviyesi ve lüle çıkış arasında (a-b) enerjinin korunumu prensibi uyg.;

$$P_{atm} \rightarrow \frac{P_a}{\gamma} + \frac{C_D^2}{2g} + z_a = \frac{P_b}{\gamma} + \frac{C_b^2}{2g} + z_b + h_k(a-b) \quad (= C_{lül})$$

$$z_a - z_b = h_k(a-b) + \frac{C_b^2}{2g} \quad C_{lül}$$

$$h_k(a-b) = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{C_D^2}{2g} + \left[2k_{dirsek} \cdot \frac{C_D^2}{2g} + k_{lül} \cdot \frac{C_{lül}^2}{2g} \right]$$

$$H_{geo} = [z_a - z_b] = \left[\lambda \frac{L}{D} + 2k_{dirsek} \right] \cdot \frac{C_D^2}{2g} + [1 + k_{lül}] \cdot \frac{C_{lül}^2}{2g}$$

$$C_{lüle} \cdot A_{lüle} = C_D \cdot A_D \quad ; \quad C_D = C_{lüle} \cdot \frac{A_{lüle}}{A_D} = C_{lüle} \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^2$$

İlgili ifadeler birleştirilerek ve verilen ifadeye taşınarak;

$$250 = \left[4 + 2 \cdot 2\right] \cdot \frac{1}{2 \times 9,81} \underbrace{\left(C_{lüle}^2 \left(\frac{100}{400}\right)^4\right)}_{C_D^2} + (1 + 0,1) \cdot \frac{C_{lüle}^2}{2 \times 9,81}$$

$$C_{lüle} = 65,84 \text{ m/s} \quad ; \quad h_k(a-b) = 29 \text{ mss}$$

$$\text{Net düşü;} \quad H_0 = H_{geo} - h_k(a-b) = 250 - 29 = 221 \text{ mss}$$

b) A konumunda, sistemde maksimum basınç oluşur. O nedenle A noktasındaki basınç isteniyor, A noktasındaki basınç, [a-A] veya [A-b] konumları arasında enerjinin korunumu yazılarak belirlenir. İşlem kolaylığı açısından [A-b] tercih edilmelidir.

[A-b] arasında;

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{\overset{C_D}{\cancel{C_A^2}}}{2g} + \cancel{z_A} = \frac{P_b}{\gamma} + \frac{\overset{C_{lüle}}{\cancel{C_b^2}}}{2g} + \cancel{z_b} + k_{lüle} \cdot \frac{C_{lüle}^2}{2g} \quad [z_a = z_b : \text{aynı seviye}]$$

$$\frac{P_A - P_{atm}}{\gamma} = \frac{C_{lüle}^2 - C_D^2}{2g} + k_{lüle} \frac{C_{lüle}^2}{2g} \quad [\gamma = \rho \cdot g]$$

İlgili veriler denkleme taşınırsa, $P_{A,etkin} = 2375731,47 \text{ Pa} [N/m^2] = 23,76 \text{ bar}$

$$\dot{m} = \rho \cdot Q = \rho \cdot C_{lüle} \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 517,11 \text{ kg/s} \quad ; \quad Q = 0,517 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$c) \quad P = \dot{m} \cdot \gamma \cdot \eta_{türbin} = 517,11 (9,81 \times 221) \times 0,9 = 1008771 \text{ W}$$

$$P = 1008,77 \text{ kW} \cong 1 \text{ MW (mikro HES)} \quad [\gamma = \rho \cdot H_0]$$

ÖRNEK 2.3. Şekil 2.6 'da şematik resmi verilen santrifüj pompaya ait çalışma verileri; pompa debisi $Q = 160 \text{ m}^3/\text{h}$, emme kesitindeki basınç $P_{emme} = -0,02 \text{ bar}$, çıkış kesitindeki basınç $P_{basınç} = 7 \text{ bar}$ ve akışkan yoğunluğu $\rho = 998,2 \text{ kg/m}^3$ şeklindedir.

Buna göre;

a) Pompanın özgül enerjisini hesaplayınız.

b) Genel verim 0,8 kabul edildiği takdirde pompa mil gücünü bulunuz.

Graph showing the relationship between head loss H_m (mss) on the vertical axis and discharge Q (m^3/s) on the horizontal axis. The curve is downward-sloping and concave. A specific operating point is marked on the curve at discharge Q_1 , with a corresponding head loss H_{m1} indicated on the y-axis. The equation $Y = g \cdot H_m$ is written inside the graph area.

$$1 \text{ atm} = 101325,01 \text{ Pa} = 0,981 \text{ bar}$$

$$\frac{P_{em}}{\rho} + \frac{C_{em}^2}{2} + g \cdot z_{em} + Y = \frac{P_{bas}}{\rho} + \frac{C_{bas}^2}{2} + g \cdot z_{bas} + h_k (\nearrow^{0}_{em-bas})$$

$$y = \frac{p_b - p_e}{\rho} + \frac{C_b^2 - C_e^2}{2} + g \underbrace{(z_b - z_e)}_{0.28m} = \frac{(7+0.02) \times 10^5}{998.2} + \frac{8.84^2 - 5.66^2}{2} + 9.81 \times 0.28$$

$$\left[C_{bns} = \frac{4Q}{\pi d b^2} = \frac{4 \times 160 / 3600}{\pi \times 0.8^2} = 8.84 \text{ m/s} \quad , \quad C_{em} = 5.66 \text{ m/s} \right]$$

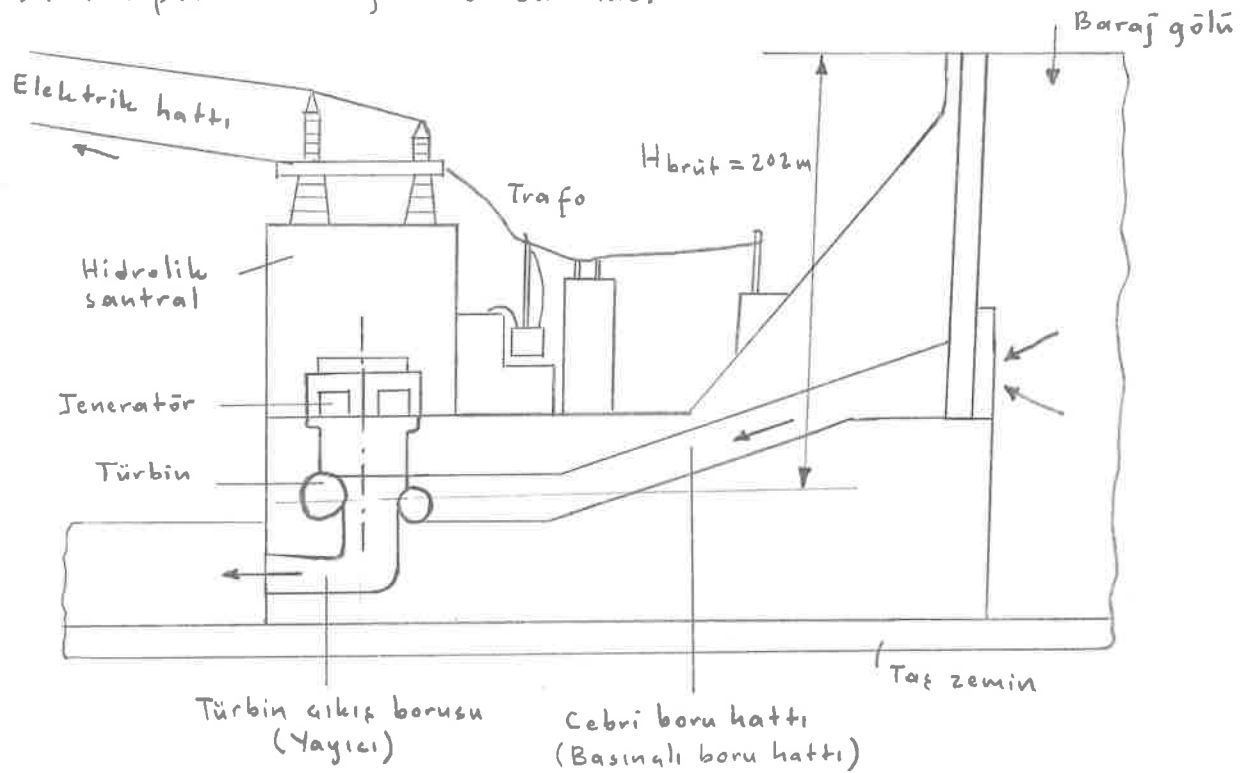
$$\gamma = 729.1 \text{ m}^2/\text{s}^2 \Rightarrow \gamma = g \cdot H_m \rightarrow H_m = 74.32 \text{ mSS}$$

$$P = \frac{\dot{m} \cdot Y}{\eta} = \frac{(S.Q) \cdot Y}{\eta} = \frac{(998.2 \times 160/3600) \cdot 729.1}{0.8}$$

$$P = 40432.6 \text{ W} = 40.43 \text{ kW} \text{ — pompa mil gūn}$$

ÖRNEK 2.3. Bir nehrin debisi yılda dört ay devam eden yağış mevsiminde ortalama olarak $11 \text{ m}^3/\text{s}$ ve diğer zamanlarda ise $2.9 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. Bu nehrin akan suyu düzgün bir şekilde kullanmak için bir biriktirme göleti (rezervuar, baraj gölü) inşa edilecektir. Gölette en yüksek konumdaki su seviyesi su türbini eksenine göre 202 m yukarıda olacaktır. Bu brüt düşüden yararlanmak için inşa edilecek hidroelektrik tesiste, herbiri 1420 m uzunlukta ve yük kaybı katsayısı $\lambda = 0.02$ olan üç cebri boru ile beslenen su türbin grubu bulunacaktır. Herbiri cebri borudaki toplam yük kaybı brüt düşünün (geo. yük) $\%3$ 'ü mertebedinde olacaktır. Tesiste kullanılacak türbinlerin genel verimi $\%82$ olduğuna göre (Şekil 2.7),

- Gölet hacmini hesaplayınız.
- Cebri boru çapını bulunuz.
- Tesisin toplam etkin gücünü bulunuz.



Şekil 2.7. Örnek 2.3'e ait sematik resim

- Nehrin 1 yıl boyunca taşıyacak olduğu ortalama debi

$$Q_{\text{ort}} = \frac{4 \times 11 + 8 \times 2.9}{12} = 5.6 \text{ m}^3/\text{s}$$

11.0 } buradaki farkı
5.6 } tutmak lazım
2.9

Elde edilen bu değer kuraklık döneminde (8 ay) nehrin verdiği debiden daha büyüktü olduğundan oluşturulacak gölet yağış mevsiminde suyu toplayacak ve kurak mevsimde fark debiyi sağlayacaktır.

Yağış mevsiminde birikecek suyun ortalama debisi

$$11 - 5.6 = 5.4 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (4 ay süre)}$$

Yağış döneminde birikecek suyun hacmi 30 gün kabulü ile

$$V = 5.4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 4 \text{ ay} \times 30 \frac{\text{gün}}{\text{ay}} \times 24 \frac{\text{saat}}{\text{gün}} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{saat}} = 55987200 \text{ m}^3$$

b) Her bir borudaki yük kaybı . geometrik yüksekliğin %3'ü olacağından her bir boru için kayıp ifadesi

$$h_{k(b-e)} = 0.03 H_{\text{brüt}} = 0.03 \times 202 = 6.06 \text{ m} \text{ şeklindedir.}$$

Göletten türbine gelen borular birbirlerine paralel bağlandığından sadece bir hat üzerinden gidilerek boru çapı belirlenebilir. Her bir borudan geçen toplam debi

$$Q_{\text{herbir boru}} = \frac{Q_{\text{top}}}{3} = \frac{5.6}{3} = 1.87 \text{ m}^3/\text{s}$$

Boru boyunca meydana gelen kayıplar yerel bağlantı elemanına ait bilgi verilmediği takdirde düz bağlantı gibi düşünülebilir. Bu durumda toplam kayıp

$$\sum h_{k(b-e)} = \lambda \frac{L}{D} \frac{C^2}{2g} \leftarrow \left[C = \frac{4Q}{\pi D^2} \text{ olmak üzere} \right]$$

$$\sum h_{k(b-e)} = \lambda \frac{L}{D} \left(\frac{4Q}{\pi D^2} \right)^2 \cdot \frac{1}{2g} = \frac{8\lambda L}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} \cdot Q_{\text{herbir}}^2$$

$$\sum h_{k(b-e)} = 6.06 \text{ m olmak üzere boru çapı } D = 1.063 \text{ m olarak belirlenir.}$$

$$c) \text{ Net düşü, } H_o = H_{\text{brüt}} - h_{k(b-e)} = 202 - 6.06 = 195.94 \text{ mSS}$$

$$P_{\text{teklin, tekinite}} = \dot{m} \cdot \gamma \cdot \eta = (\rho \cdot Q_{\text{herbir}}) \cdot (g \cdot H_o) \cdot \eta$$

$$P_{\text{toplani}} = 3 \cdot \dot{m}_{\text{tek}} \cdot \gamma \cdot \eta = \dot{m}_{\text{top}} \cdot \gamma \cdot \eta$$

$$P_{\text{toplani}} = \rho \cdot Q_{\text{top}} \cdot H_o \cdot g \cdot \eta$$

$$P_{\text{toplani}} = 1000 \times 5.6 \times 195.94 \times 9.81 \times 0.82 / 1000$$

$$P_{\text{toplani}} = 8827 \text{ kW} = 8.827 \text{ MW}$$

2.3. Hidrolik Akım Makinalarında Kayıplar ve Verimler

2.3.1. Hidrolik Akım Makinalarında Kayıplar

Hidrolik akım makinalarında en büyük enerji kayıpları dönel çark ve yöneltici çark kanatlarından ve kesit ve yön değişiminden akış yönü dışındaki çalkantılardan oluşmaktadır. Bu kayıplar hidrolik kayıp veya kanat kayıpları adını alır ve Z_h ile temsil edilir. Pompalarda kanat kanallarındaki bu kayıplar öngörülen özgüt enerjiye ($\gamma = \rho \cdot g \cdot H_m$) eklenerek kanat özgüt enerjisi (γ_k) elde edilir. Bu durum açık formda,

$$\gamma_k = \gamma + Z_h \quad \text{şeklinde ifade edilir.}$$

$\downarrow$ kanat özgüt enerjisi $\downarrow$ özgüt enerji $\swarrow$ hidrolik kayıplar (pompalardaki en büyük kayıplar)

Su türbinlerinde ise pompalardaki durumun tam tersi olması nedeniyle, kanat özgüt enerjisi γ_k , özgüt enerjiden kayıplar çıkarılarak bulunur. Bu durum açık formda,

$$\gamma_k = \gamma - Z_h \quad \text{şeklinde ifade edilir.}$$

Yukarıdaki iki eşitlik birleştirilerek yazılmak istenirse,

$$\gamma_k = \gamma \pm Z_h \quad \begin{array}{l} + : \text{pompa} \\ - : \text{türbin} \end{array} \quad \text{elde edilir.}$$

Bundan sonraki notasyonda bu kullanım dikkate alınacaktır.

Hidrolik akım makinalarında dönen ve sabit duran parçalar arasında mutlaka bir aralık bırakmak gerekecektir. Bu aralıktan dolayı basıncı büyük basma tarafından basıncı düşük emme tarafına doğru bir akış olacaktır. Bu aralıktan geçen debi aralık debisi veya kanak debi olarak isimlendirilir ve Q_a ile temsil edilir. Bu debiden dolayı pompa çark kanat kanallarından geçen debi

$$Q_i = Q + Q_a \quad \leftarrow \text{Pompa} \quad \text{şeklindedir.}$$

$\downarrow$ kanak debi (aralık debisi)
 $\downarrow$ basma hattına sevki edilen debi
 $\downarrow$ toplam debi (çark kanallından geçen)

Türbinlerde ise çark kanat kanallarından geçen debi

$$Q = Q - Q_a \quad \leftarrow \text{Türbin}$$

Benzer şekilde ortak bir gösterimle çark kanallarından geçen debi;

$$Q_i = Q + Q_a$$

Başka bir kayıp ise danel çarkın dış yüzeyindeki sürtünmeden dolayı oluşan sürtünme kaybıdır. Bu kayıp P_f ile temsil edilir. Diğer taraftan sadece pompalara özgü olarak çarkın içinden geçip basma tarafına doğru giden akışta bir yavaşlama söz konusu olduğundan sıkış ortamı ile kanat kanalları arasında bir akışkan alıverişi olacaktır. Bu alıverişten dolayı meydana gelen kayıp alıveriş kaybı olarak isimlendirilir. P_a ile temsil edilir. Genel olarak bu kayıp normal yüklerde göz önünde bulundurulmaz. Şimdiye kadar bahsedilen kayıplar iç kayıplar olarak isimlendirilirler. İç kayıpların ortak özelliği ısıya dönüşüp akışkana geçmeleridir. İç kayıplar yararlı güç ile birlikte iç gücü meydana getirirler. İç güç pompalarda milin makine içine aktardığı gücü, türbinlerde ise mile aktarılan gücü temsil eder. İç güç ortak bir gösterimle,

$$P_i = \eta [Q + Q_a] \cdot \gamma_k + [P_u + P_a] \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{sadece pompalara özgü} \\ \gamma_k = \gamma + z_h \end{array} \right.$$

Birim kütle için iç özgül enerji aşağıdaki formda düzenlenebilir.

$$\gamma_i = \frac{P_i}{\dot{m}} = \left[1 + \frac{Q_a}{Q} \right] \cdot \gamma_k + [z_u + z_a] \quad , \quad z_u = \frac{P_u}{\dot{m}} \quad , \quad z_a = \frac{P_a}{\dot{m}}$$

Son olarak ise birbirleri üzerinde kayan ve havayla temas halinde bulunan yüzeylerin oluşturduğu dış kayıplar (mekanik kayıplar) göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kayıplara yatak ve salmastra sürtünmeleri ile kavramadaki hava sürtünmeleri neden olur.

Mekanik kayıpların neden olduğu güç kaybı P_m ile ifade edilir. Yukarıdaki açıklamalar ışığında kavramadaki toplam güç (mil gücü)

$$P = P_i + P_m = \eta [Q + Q_a] \gamma_k + [P_u + P_a + P_m] \quad \text{ile belirlenir.}$$

2.3.2. Hidrolik Akım Makinalarında Verimler

Yukarıda tanımlanan kayıplara uygun olarak hidrolik akım makinalarına ait verim ifadeleri aşağıda verilmektedir.

Hidrolik Verim; Kanat kanallarında oluşan basınç kaybının düzeyini temsil eder. Dönel çark ve yöneltici çark kanallarında ve kesit değişimi ile yön değişiminden kaynaklanan akış yönü dışındaki çalkantılar bu basınç kaybının nedenidir. Ortak gösterimle

$$\eta_h = \left[\frac{Y}{Y_h} \right]^{\pm 1} = \left[\frac{Y}{Y \mp z_h} \right]^{\pm 1} \quad \begin{array}{l} + : \text{pompa} \\ - : \text{türbin} \end{array}$$

Hacimsel (Volümetrik) Verim; Dönen ve sabit duran parçalar arasındaki aralık debisinin düzeyini temsil eder. Çarktan geçen toplam debi Q_i olmak üzere volümetrik verim

$$Q_i = Q + Q_a \Rightarrow \eta_v = \frac{Q}{Q_i} = \frac{Q}{Q + Q_a} \rightarrow \text{Pompalarda}$$

basma hattına sirk edilen debi

$$Q_i = Q - Q_a \Rightarrow \eta_v = \frac{Q_i}{Q} = \frac{Q - Q_a}{Q} \rightarrow \text{Türbinlerde}$$

Mekanik Verim; Akım makinasının salmastra ve yataklarda meydana gelen kayıpların düzeyini temsil eder. η_m ile gösterilir. Aşağı formda;

$$\eta_m = \left[\frac{P_i}{P_i \mp P_m} \right]^{\pm 1}$$

İç Verim; Bütün iç kayıpları (akışkan kaynaklı kayıplar) temsil eder. η_i ile gösterilir. Aşağı formu,

$$\eta_i = \eta_h \cdot \eta_v$$

Genel Verim; iç ve dış kayıpların düzeyini temsil eder. η ile gösterilir.

$$\eta = \eta_i \cdot \eta_m = \eta_h \cdot \eta_v \cdot \eta_m$$