

Soru 01-Elektrik İşi Hesabı: Bir elektrik devresinde yer alan bataryanın gerilimi **10 V** ve elektrik enerjisini ısı enerjisine çeviren direnç telinin direnci ise **25 Ω** olarak ölçülüyor. Devre ise **400 s** boyunca çalıştırılıyor. Bu süre içinde bataryanın direnç teli üzerinde yaptığı işi [**kJ**] olarak hesaplayınız.

Çözüm Elektrik işi hesabı için Denklem (2.20) ile verilen eşitlik kullanılacaktır.

Verilenler Batarya gerilimi: $E = 10 \text{ V}$
Direnç telinin direnci: $R = 25 \Omega$
Devrenin çalışma süresi: $\Delta t = 400 \text{ s}$

Çözüm Batarya ile direnç teli arasında kablo bağlantısı vardır ve bataryanın pozitif kutbundan çıkan elektrik akımı direnç teline girmekte, direnç telinden çıkan elektrik akımı ise tekrar bataryaya ulaşmakta ve bataryanın negatif kutbundan girmektedir. Burada direnç teli sistem olarak alınacaktır. Bataryanın sistem üzerinde yaptığı iş Denklem (2.20) yardımıyla hesaplanacaktır. Denklem (2.20) eşitliğinde akım (I) ifadesi yer almaktadır. Akım ve gerilim zamanla değişmediğinden dolayı Ohm yasası yardımıyla önce akım değeri aşağıda verildiği gibi hesaplanacaktır.

$$\text{Ohm yasası: } I = \frac{E}{R} \rightarrow I = \frac{10 \text{ V}}{25 \Omega} = 0.4 \text{ A}$$

$$W_{\text{elek}} = \int_{t_1}^{t_2} E I dt \rightarrow W_{\text{elek}} = E I \int_{t_1}^{t_2} dt = E I \Delta t$$

$$W_{\text{elek}} = (10 \text{ V})(0.4 \text{ A})(400 \text{ s}) = 1600 \text{ J} = 1.6 \text{ kJ}$$

Bataryanın direnç teli üzerinde yaptığı iş 1.6 kJ olarak belirlenmiştir.

Soru 02-Elektrikli Isıtıcı Analizi: Sürekli çalışan bir elektrikli ısıtıcı, gerilimi **120 V** olan bir kaynaktan **10 A** değerinde bir akım tüketmektedir ve elektrikli ısıtıcının yüzey sıcaklığı da zamanla değişmemektedir. Bu kapsamda (a) elektrikli ısıtıcıdan çıkan ısı akımını [**kW**] olarak ve (b) ısıtıcının enerji verimliliğini [%] olarak hesaplayınız.

Çözüm Elektrikli ısıtıcı kapalı bir sistemdir. Sistem sınırından kontrol kütesine (sisteme) elektrik enerjisi girişi (iş girişi) ve kontrol kütesinden ısı çıkışı vardır. Bu çerçevede sistem için enerji dengesi eşitliği kullanılarak ısıtıcıdan çıkan ısı akımı hesaplanacaktır.

Verilenler Kaynak gerilimi: $V = 120 \text{ V}$
Elektrik akımı: $I = 10 \text{ A}$

Kabuller Gerilim ve akım değerleri sabittir.
Elektrikli ısıtıcı yüzey sıcaklığı sabit olarak alınacaktır.

Çözüm Kapalı bir sistem olan elektrikli ısıtıcının yüzey sıcaklığı değişmediği için elektrikli ısıtıcı kararlı bir sistem olarak ele alınacaktır. Bu çerçevede Denklem (2.28) ile verilen enerji dengesi eşitliği aşağıda verildiği gibi düzenlenebilir:

$$\dot{E}_{giren} - \dot{E}_{çıkan} = \frac{dE_{sistem}}{dt}$$

$$\dot{E}_{giren} = \dot{W}_{elektrik, giren}, \dot{E}_{çıkan} = \dot{Q}_{elek. ısıtıcı, çıkan} \text{ ve } \frac{dE_{sistem}}{dt} = 0 \text{ W (Kararlı durum)}$$

Elektrikli ısıtıcının yüzey sıcaklığı sabit olduğu için kontrol kütesinin (sistemin) iç enerjisi de değişmeyecektir. Sistemin iç enerjisi değişmiyorsa, sistemin enerjisinin zamana göre değişimi de "0 W" olacaktır. Yani sistem, kararlı bir sistemdir. Kararlı sistem için enerji dengesi eşitliği aşağıda verildiği gibi olacaktır:

$$(\dot{W}_{elektrik, giren}) - (\dot{Q}_{elek. ısıtıcı, çıkan}) = 0 \text{ W}$$

$$\dot{W}_{elektrik, giren} = \dot{Q}_{elek. ısıtıcı, çıkan}$$

$$\dot{W}_{elektrik, giren} = VI = (120 \text{ V})(10 \text{ A}) = 1200 \text{ W} = 1.2 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{elek. ısıtıcı, çıkan} = 1.2 \text{ kW}$$

(a) Elektrikli ısıtıcıdan çıkan ısı akımı 1.2 kW olarak belirlenmiştir.

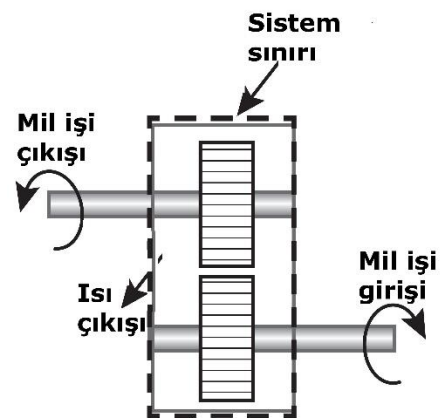
Elektrikli ısıtıcıya giren elektrik gücü kadar elektrikli ısıtıcıdan ısı çıkışı olacaktır. Yani elektrik enerjisinin tamamı ısı enerjisine dönüşecektir. Kaliteli bir enerji olan elektrik enerjisinin (elektrik işinin) tamamı ısıya dönüştüğü için ısıtıcının enerji verimi de %100 olacaktır.

$$\text{Isıl verim, } \eta_{ısıl} = \frac{\text{İstenen çıktı}}{\text{Gerekli girdi}} = \frac{\dot{Q}_{elek. ısıtıcı, çıkan}}{\dot{W}_{elektrik, giren}} = \frac{1.2 \text{ kW}}{1.2 \text{ kW}} = 1 \text{ (%100)}$$

(b) Elektrikli ısıtıcının enerji verimliliği %100 olarak hesaplanmıştır.

Yorum: Termodinamiğin birinci yasası verimi; ısı verim, enerji verimliliği ve enerjetik verim olarak da isimlendirilir. Burada elektrikli ısıtıcının birinci yasa verimi %100 olarak bulunmuştur ama termodinamik bir sistemin mutlaka hem termodinamiğin birinci yasası hem de termodinamiğin ikinci yasası ile değerlendirilmesi ve enerjetik verim yanında ekserjetik verime de bakılması gerekmektedir. Ekserjetik verim ilerleyen konular içinde yer alacaktır.

Soru 03-Dişli Kutusunda Mil İşi Geçişi: Şekil ile verildiği gibi bir otomobil motoru, açısal hızı **4200 devir/dakika** ve **çevrim oranı** 2 olan bir dişli kutusuna sürekli olarak **155 kW** değerinde mil gücü sağlamaktadır. Sabit bir değerdeki dişli kutusu sıcaklığı, çevre sıcaklığından yüksek değerdedir ve dişli kutusundan çevreye **3.5 kW** değerinde ısı kaybı (ısı çıkışı) olmaktadır. Bu çerçevede (a) çıkış mili tarafından iletilen gücü [kW] olarak ve çıkış milinin tork miktarını [kNm] olarak belirleyiniz (b) enerji verimliliğini [%] olarak hesaplayınız.



Çözüm Dişli kutusu (şanzıman) kapalı bir sistemdir. Sistem sınırından kontrol kütesine (sisteme) mil işi girişi ve kontrol kütesinden çevreye mil işi çıkışı ile ısı çıkışı olmaktadır. Bu

çerçevede sistem için enerji dengesi eşitliği kullanılarak dişli kutusundan çıkan iş çıkışı gücü (akımı) hesaplanacaktır.

Verilenler Açısal hız: $\omega = 4200$ devir/dakika

Mil işi girişi: $\dot{W}_{\text{mil, giren}} = 155$ kW

Isı çıkışı: $\dot{Q}_{\text{çıkan}} = 3.5$ kW

Kabuller Dişli kutusu sıcaklığı sabittir.

Çözüm Dişli kutusu (sistem) sıcaklığı sabit olduğu için sistemin enerjisi zamana göre değişmeyecektir. Kararlı durumda $dE_{\text{sistem}} / dt = 0$ W olacaktır. (Isman sistemden ısı çıkışı olduğu için sistemin sıcaklığı sabit kalmaktadır). Bu kapsamda Denklem (2.28) yardımıyla zamana bağlı enerji dengesi eşitliği aşağıda verildiği gibi düzenlenebilir:

$$\dot{E}_{\text{giren}} - \dot{E}_{\text{çıkan}} = \frac{dE_{\text{sistem}}}{dt}$$

$$\dot{E}_{\text{giren}} = \dot{W}_{\text{mil, giren}}, \dot{E}_{\text{çıkan}} = \dot{W}_{\text{mil, çıkan}} + \dot{Q}_{\text{çıkan}} \text{ ve } \frac{dE_{\text{sistem}}}{dt} = 0 \text{ W}$$

$$\dot{W}_{\text{mil, giren}} - (\dot{W}_{\text{mil, çıkan}} + \dot{Q}_{\text{çıkan}}) = 0 \text{ W} \rightarrow \dot{W}_{\text{mil, çıkan}} = \dot{W}_{\text{mil, giren}} - \dot{Q}_{\text{çıkan}}$$

$$\dot{W}_{\text{mil, çıkan}} = \dot{W}_{\text{mil, giren}} - \dot{Q}_{\text{çıkan}} \rightarrow \dot{W}_{\text{mil, çıkan}} = (155 \text{ kW}) - (3.5 \text{ kW}) = 151.5 \text{ kW}$$

2 adet dişli için açısal hız değeri 4200 devir/dakika olarak verilmiştir. Çıkış mili için açısal hız değeri (4200 devir/dakika) / 2 = 2100 devir/dakika olacaktır. Bu çerçevede çıkış milinin tork miktarı aşağıda verildiği gibi hesaplanabilir:

$$\dot{W}_{\text{mil}} = 2\pi\omega T \rightarrow T = \frac{\dot{W}_{\text{mil, çıkan}}}{2\pi\omega} \rightarrow T = \frac{(151.5 \text{ kW})}{2\pi \left(2100 \frac{\text{devir}}{\text{dakika}} \right) \left(\frac{1 \text{ dakika}}{60 \text{ s}} \right)} = 0.69 \text{ kNm}$$

(a) Çıkış mili tarafından iletilen güç 151.5 kW olarak ve çıkış milinin tork miktarı ise 0.69 kNm olarak belirlenmiştir.

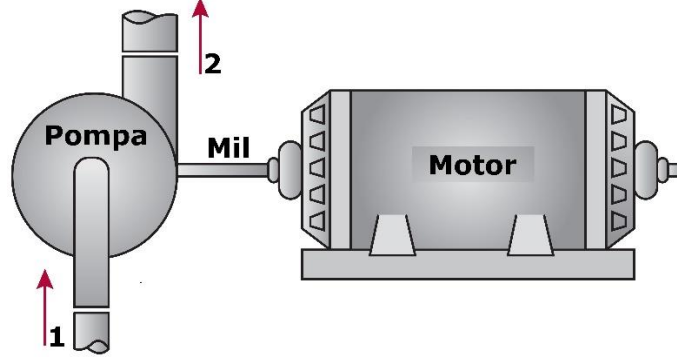
Termodinamiğin birinci yasası verimliliği yani enerji verimliliği, sistem tarafından sağlanan mil gücünün gerekli girdiye oranı olarak tanımlanabilir:

$$\eta = \frac{\text{İstenen çıktı}}{\text{Gerekli girdi}} = \frac{\dot{W}_{\text{mil, çıkan}}}{\dot{W}_{\text{mil, giren}}} = \frac{151.5 \text{ kW}}{155 \text{ kW}} = 0.977 \text{ (\%97.7)}$$

(b) Enerji verimliliği %97.7 olarak belirlenmiştir.

Yorum: Dişli kutusu çalışıkça sürtünmeden dolayı ısındığı ve çevre sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklığa geldiği için dişli kutusundan çevreye ısı çıkışı olmuş ve dişli kutusunun verimi %97.7 olarak belirlenmiştir. Sürtünme etkilerini dikkate alınmasaydı ideal dişli kutusunun verimi %100 olacaktı. Bunun yanında dişli kutusunun sıcaklığı sabit olarak alınmasaydı sistemin enerjisinin zamana göre değişimi de “0 W” olmayacaktı.

Soru 04-Bir Pompa için Mekanik Enerji Eşitliğinin Kullanımı: Şekil ile verildiği gibi bir su pompası, su basıncını **101 kPa** değerinden **480 kPa** değerine yükseltmektedir. Pompaya bir mil ile bağlı motora **15 kW** gücünde elektrik enerjisi girişi olmaktadır. Pompanın giriş borusu çapı **20 cm**, çıkış borusu çapı **24 cm** ve giriş borusu ile çıkış borusu merkezleri arasındaki yükseklik değeri de **30 cm** olarak verilmiştir. **0.025 m³/s** debideki suyu pompa ile gönderebilmek için (a) gereken güç girişini [kW] olarak (b) motor verimi **%88** olduğuna göre pompanın mekanik verimini [%] olarak belirleyiniz.



Çözüm Pompa içindeki su sistem olarak alınabilir. Pompa açık sistem (kontrol hacmi) olarak değerlendirilecektir. Sistem sınırından yani kontrol yüzeyinden kütle girişi, kütle çıkışı ve mil işi girişi olacaktır. Pompanın çalışması için milin çalışması gerekmektedir. Mili ise motor döndürecektir. Motorun çalışması ise 15 kW gücünde giren elektrik enerjisi ile sağlanacaktır. Suyun sıcaklığı sabit olarak alınırsa pompaya olan güç girişi akışkanın mekanik enerjisindeki değişimden bulunabilir.

Verilenler

- Pompa giriş basıncı: $P_1 = 101 \text{ kPa}$
- Pompa çıkış basıncı: $P_2 = 480 \text{ kPa}$
- Motora giren elektrik enerjisi akımı: $\dot{W}_{\text{elektrik}} = 15 \text{ kW}$
- Pompanın giriş borusu çapı: $D_1 = 20 \text{ cm} = 0.20 \text{ m}$
- Pompanın çıkış borusu çapı: $D_2 = 24 \text{ cm} = 0.24 \text{ m}$
- Pompanın girişi ile çıkışı arasındaki kot farkı: $\Delta h = 30 \text{ cm} = 0.30 \text{ m}$
- Pompadaki su debisi (hacimsel debi): $\dot{V} = 0.025 \text{ m}^3 / \text{s}$
- Motor verimi: $\eta_{\text{motor}} = \%88$

Kabuller

- Sistemin (suyun) sıcaklığı sabittir.
- Yerçekimi ivmesi, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ olarak alınacaktır.

Çözüm Pompanın mil gücü girişi, mekanik enerji değişimine eşit olacaktır. Denklem (2.14) eşitliği ile verilen mekanik enerji değişimi eşitliği, güç birimi olan [W] birimine aşağıda verildiği gibi dönüştürülebilir ve $\Delta \dot{E}_{\text{mekanik}} = \dot{W}_{\text{giren}}$ olarak alınabilir:

$$\Delta E_{\text{mekanik}} = m \left[v(P_2 - P_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right] \text{ (J)}$$

$$\Delta \dot{E}_{\text{mekanik}} = \dot{m} \left[v(P_2 - P_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right] \text{ (W)}$$

$$\Delta \dot{E}_{\text{mekanik}} = \dot{W}_{\text{giren}} = \frac{\dot{V}}{v} \left[v(P_2 - P_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right] \text{ (W)}$$

Yukarıda verildiği gibi kütle (m) yerine, kütleli debi (\dot{m}) alındığında mekanik enerji değişimi joule (J) biriminden watt (W) birimine dönüşür. Kütleli debi, hacimsel debinin (\dot{V}) özgül hacme (v) oranı şeklinde de yazıldığına ise üçüncü eşitlik elde edilir. Aşağıda verildiği gibi eşitlik içindeki hız değerleri, sıkıştırılmaz akışkan olan su için hacimsel debi eşitliğinden yararlanılarak bulunabilir (Sıkıştırılmaz akışkanlarda hacimsel debi değeri değişmez):

$$\begin{aligned} \dot{V} &= VA_k \rightarrow \dot{V} = V_1 A_{k,1} \rightarrow \dot{V} = V_1 \frac{\pi D_1^2}{4} \rightarrow \dot{V} = V_2 \frac{\pi D_2^2}{4} \\ \dot{V} &= V_1 \frac{\pi D_1^2}{4} \rightarrow (0.025 \text{ m}^3/\text{s}) = V_1 \frac{\pi(0.20 \text{ m})^2}{4} \rightarrow V_1 = 0.80 \text{ m/s} \\ \dot{V} &= V_2 \frac{\pi D_2^2}{4} \rightarrow (0.025 \text{ m}^3/\text{s}) = V_2 \frac{\pi(0.24 \text{ m})^2}{4} \rightarrow V_2 = 0.55 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Pompanın girişi ile çıkışı arasındaki kot farkı, $z_2 - z_1 = \Delta h = 0.30 \text{ m}$ olarak verilmiştir. Sabit su sıcaklığına ait sayısal değer verilmemesi için suyun yoğunluğu 1000 kg/m^3 ve suyun özgül hacmi $1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ olarak alınabilir. Bu çerçevede pompanın giriş gücü aşağıda verildiği gibi hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} \dot{W}_{\text{giren}} &= \frac{\dot{V}}{v} \left[v(P_2 - P_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right] \\ \dot{W}_{\text{giren}} &= \frac{(0.025 \text{ m}^3/\text{s})}{(1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg})} \left[(1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg})(480000 - 101000) \text{ Pa} \right] + \\ &\quad + \frac{(0.025 \text{ m}^3/\text{s})}{(1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg})} \left[\frac{(0.55 \text{ m/s})^2 - (0.80 \text{ m/s})^2}{2} + (9.81 \text{ m/s}^2)(0.30 \text{ m}) \right] \\ \dot{W}_{\text{giren}} &= (9475 \text{ W}) + (69.36 \text{ W}) = 9544.36 \text{ W} = 9.54 \text{ kW} \end{aligned}$$

İdeal bir pompa (mekanik verimi %100 olan pompa) için; $\dot{W}_{\text{giren}} = \dot{W}_{\text{pompa}} = 9.54 \text{ kW}$ olacaktır. İdeal pompa için bulunan güç değerine (mil gücü girişine) “**yararlı pompa gücü**” denilmektedir: $\dot{W}_{\text{pompa,yararlı}} = 9.54 \text{ kW}$.

(a) İdeal pompaya olan güç girişi 9.54 kW olarak belirlenmiştir.

Yorum: Sadece basınç farkı ile hacimsel debi çarpımı alındığında güç girişi 9475 W (9.48 kW) olarak bulunmakta ve bu değere kinetik enerji değişimi ve potansiyel enerji değişimi eklendiğinde ise güç girişi 9544.36 W (9.54 kW) olarak belirlenmektedir. İki güç girişi arasındaki fark $9.54 \text{ kW} - 9.48 \text{ kW} = 0.06 \text{ kW}$ olmaktadır. Pompa giriş borusu çapı ile pompa çıkış borusu çapı birbirine eşit olduğunda ise giriş ve çıkıştaki hızlar da eşit olacağı için kinetik enerji değişiminin etkisi olmayacaktır. Bunun yanında potansiyel enerji değişiminin etkisi de göreceli olarak daha az olacaktır. Yani ihmal edilebilecek hata miktarı çerçevesinde sıvı ile çalışan pompalarda sadece basınç farkı yardımıyla güç girişi bulunabilir:

$$\dot{W}_{giren} = \frac{\dot{V}}{v} [v(P_2 - P_1)] \rightarrow \dot{W}_{giren} = \dot{W}_{pompa, yararlı} = \dot{V}(P_2 - P_1) (W)$$

Yukarıda verilen eşitlikte sıvı sıcaklığının gerekli güç girişi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. v özgül hacim (m^3/kg) olmak üzere, yukarıda verilen eşitlik aşağıda verildiği gibi “J/kg” biriminde de yazılabilir:

$$w_{pompa, yararlı} = v(P_2 - P_1) (J/kg)$$

İdeal pompanın çalışması için 9.54 kW değerinde bir güce gereksinim vardır. 15 kW gücündeki elektrik enerjisi girişi ise verimi %88 olan motoru çalıştırmaktadır. Yani ideal olmayan motor kullandığı elektrik enerjisi girişinin %88 kadarını mile aktarmaktadır. Gerçek pompa mil gücü ile pompa gücü de birbirinden farklı olacaktır. Bu kapsamda mile motordan aktarılan güç değeri aşağıda verildiği gibi hesaplanabilir:

$$\dot{W}_{mil} = (\eta_{motor})(\dot{W}_{elektrik}) \rightarrow \dot{W}_{mil} = \dot{W}_{mil, giren} = (\eta_{motor})(\dot{W}_{elektrik}) = (0.88)(15 \text{ kW}) = 13.20 \text{ kW}$$

İdeal pompa milinden pompaya aktarılan güç 9.54 kW iken gerçek pompa milinden pompaya 13.20 kW değerinde güç aktarılmaktadır. Bu iki durum göz önüne alınarak pompanın verimi aşağıda verildiği gibi belirlenir:

$$\dot{W}_{giren} = \dot{W}_{pompa, yararlı} = (\eta_{pompa})(\dot{W}_{mil}) \rightarrow 9.54 \text{ kW} = (\eta_{pompa})(13.20 \text{ kW})$$

$$\eta_{pompa} = \frac{9.54 \text{ kW}}{13.20 \text{ kW}} = 0.72 (\%72) \leftrightarrow \left(\eta_{pompa} = \frac{\dot{\Delta E}_{mekanik}}{\dot{W}_{mil, giren}} = \frac{\dot{W}_{pompa, yararlı}}{\dot{W}_{mil, giren}} = 0.72 \right)$$

(b) Gerçek pompanın mekanik verimi %72 olarak belirlenmiştir. Denklem (2.30) ile verilen pompaya ait mekanik verim eşitliği yardımıyla da aynı verim değeri yukarıda verildiği gibi bulunabilirdi. Pompa-motor çiftinin verimi ise aşağıda verildiği gibi hesaplanır:

$$\eta_{pompa-motor} = (\eta_{pompa})(\eta_{motor}) \rightarrow \eta_{pompa-motor} = (0.72)(0.88) = 0.63 (\%63)$$

Yorum: Bir termodinamik sistemde birbirlerine bağlı düzeneklerin tek başlarına verimleri ne kadar yüksek olursa, birbirlerine bağlandıklarında da oluşacak birleşik verimleri de o kadar yüksek olur ama birleşik verim her zaman düzeneklerin tek başlarına olan verimlerden düşük olacaktır. Bu soruda pompanın tek başına verimi 0.72 ve motorun tek başına verimi 0.88 iken birleşik verim 0.63 olmuştur. Yani verimler aşağıda verildiği gibi sıralanmıştır:

$$(\eta_{pompa-motor} = 0.63) < (\eta_{pompa} = 0.72) < (\eta_{motor} = 0.88)$$

Bu soruda mekanik enerji eşitliğinden yararlanılarak yararlı pompa gücü değeri bulunmuştur. Aynı değer Denklem (2.28) yardımıyla termodinamiğin birinci yasası eşitliği veya enerji dengesi eşitliği kullanılarak da aşağıda verildiği gibi belirlenebilir:

$$\dot{E}_{giren} - \dot{E}_{çıkan} = \frac{dE_{KH}}{dt} \text{ (W)}$$

$$\dot{E}_{giren} = \dot{E}_{k\u00fctle,1} + \dot{W}_{pompa, yararlı}, \quad \dot{E}_{çıkan} = \dot{E}_{k\u00fctle,2} \quad \text{ve} \quad \frac{dE_{KH}}{dt} = 0 \text{ W}$$

Sıkıştırılmaz akışkanlarda pompanın boru girişindeki (1 noktası) hacimsel debi değeri ile pompanın boru çıkışındaki (2 noktası) hacimsel debi değeri birbirine eşit olduğu için bu sistem sürekli akış içermektedir ve sürekli akışta sistemin (kontrol hacminin) zamana göre değişimi 0 W olacaktır. Bu çerçevede yararlı pompa işi aşağıda verildiği gibi hesaplanabilir:

$$\dot{E}_{giren} - \dot{E}_{çıkan} = \frac{dE_{KH}}{dt} \rightarrow \dot{E}_{k\u00fctle,1} + \dot{W}_{pompa, yararlı} - \dot{E}_{k\u00fctle,2} = 0 \text{ W}$$

$$\dot{W}_{pompa, yararlı} = \dot{E}_{k\u00fctle,2} - \dot{E}_{k\u00fctle,1} = \dot{m} \left[(u_2 - u_1) + v(P_2 - P_1) + (ke_2 - ke_1) + (pe_2 - pe_1) \right]$$

$$\dot{W}_{pompa, yararlı} = \frac{\dot{V}}{v} \left[(u_2 - u_1) + v(P_2 - P_1) + \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right) + g(z_2 - z_1) \right]$$

Pompa içindeki sıvının sıcaklığı sabit olduğu için özgül iç enerji farkı; $u_2 - u_1 = 0 \text{ J/kg}$ olacaktır. Kütleli debi (\dot{m}) yerine de hacimsel debi / özgül hacim (\dot{V}/v) yazılabilir. Yararlı pompa gücünün sayısal değeri de aşağıda verildiği gibi bulunur:

$$\dot{W}_{pompa, yararlı} = \frac{\dot{V}}{v} \left[(u_2 - u_1) + v(P_2 - P_1) + \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right) + g(z_2 - z_1) \right]$$

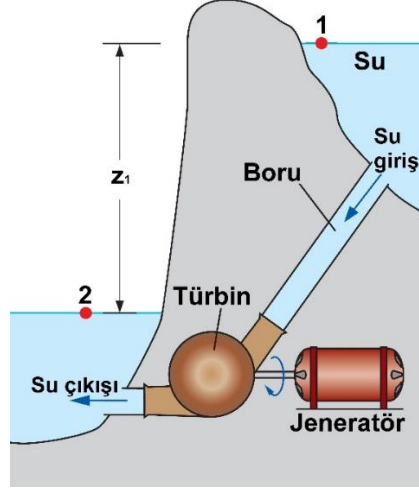
$$\dot{W}_{pompa, yararlı} = \frac{(0.025 \text{ m}^3/\text{s})}{(1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg})} \left[(0 \text{ J/kg}) + (1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg})(480000 - 101000) \text{ Pa} \right] +$$

$$\frac{(0.025 \text{ m}^3/\text{s})}{(1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg})} \left[\frac{(0.55 \text{ m/s})^2 - (0.80 \text{ m/s})^2}{2} + (9.81 \text{ m/s}^2)(0.30 \text{ m}) \right]$$

$$\dot{W}_{pompa, yararlı} = 9475 \text{ W} + 69.36 \text{ W} = 9544.36 \text{ W} = 9.54 \text{ kW}$$

Hem mekanik enerji eşitliğinden hem de enerji dengesi eşitliğinden yararlı pompa gücü 9.54 kW olarak belirlenmiştir. İçinde sürtünme işi yoksa **enerji dengesi eşitliği, ideal bir eşitliktir** ve bu eşitlikten “yararlı enerji/güç” değerleri bulunur.

Soru 05-Bir Türbin için Mekanik Enerji Eşitliğinin Kullanımı: Şekil ile verildiği gibi **60 m** derinliğe sahip bir göldeki su kütesinden yararlanılarak, bir hidrolik türbin-jeneratör sisteminden elektrik enerjisi üretmek için yararlanılacaktır. Su yüzeyinden **60 m** aşağıya yerleştirilen hidrolik türbin-jeneratör sistemine su **5250 kg/s** debiyle girmektedir. Üretilen elektrik gücü **2000 kW** olarak ve jeneratör verimi **%96** olarak verilmiştir. Bu çerçevede (a) türbin-jeneratör çiftinin birleşik verimini [%] olarak, (b) türbinin mekanik verimini [%] olarak ve (c) türbinden jeneratöre sağlanan mil gücünü [kW] olarak belirleyiniz.



Çözüm Türbin içindeki su sistem olarak alınabilir. Türbin açık sistem (kontrol hacmi) olarak değerlendirilecektir. Sistem sınırından yani kontrol yüzeyinden kütle girişi, kütle çıkışı ve mil işi çıkışı olacaktır. Jeneratörün çalışması için milin çalışması gerekmektedir. Mili ise türbin döndürecek. Türbinin çalışması ise kütle girişi ve kütle çıkışı ile sağlanacaktır. Suyun sıcaklığı sabit olarak alınırsa türbinden olan güç çıkışı akışkanın mekanik enerjisindeki değişimden bulunabilir.

Verilenler Su yüksekliği: $z_1 = 60 \text{ m}$
 Su debisi: $\dot{m} = 5250 \text{ kg/s}$
 Üretilen elektrik gücü: $\dot{W}_{\text{elektrik}} = 2000 \text{ kW}$
 Jeneratör verimi: $\eta_{\text{jeneratör}} = \%96$

Kabuller Sistemin (suyun) sıcaklığı sabittir.
 Suyun yoğunluğu $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ olarak alınacaktır.
 Yerçekimi ivmesi, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ olarak alınacaktır.

Çözüm Türbinden güç çıkışı, mekanik enerji değişimine eşit olacaktır. Denklem (2.14) eşitliği ile verilen mekanik enerji değişimi eşitliği, güç birimi olan [W] birimine aşağıda verildiği gibi dönüştürülebilir ve $\Delta \dot{E}_{\text{mekanik}} = \dot{W}_{\text{çıkan}}$ olarak alınabilir:

$$\Delta E_{\text{mekanik}} = m \left[v(P_1 - P_2) + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) \right] \text{ (J)}$$

$$\Delta \dot{E}_{\text{mekanik}} = \dot{m} \left[v(P_1 - P_2) + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) \right] \text{ (W)}$$

Yukarıda verildiği gibi kütle (m) yerine, kütesel debi (\dot{m}) alındığında mekanik enerji değişimi joule (J) biriminden watt (W) birimine dönüşür. 60 m yüksekliğe sahip su yüzeyi 1 noktası olarak alınırsa, 1 noktasının üzerindeki basınç atmosfer basıncı yani $P_1 = 101325$ Pa olacaktır. Türbinden çıkan su, türbin önünde bir havuz oluşturacaktır ve bu havuzdaki su yüzeyi 2 noktası olarak alınırsa, 2 noktasının üzerindeki basınç da atmosfer basıncı yani $P_2 = 101325$ Pa olacaktır. Hem göl hem de havuza ait serbest sıvı yüzeylerinin (su yüzeylerinin) hızları da yaklaşık olarak 0 m/s olarak alınabilir. (Serbest sıvı yüzeyleri üzerindeki basınçlar ve serbest sıvı yüzeylerine ait hız bilgileri için “Akışkanlar Mekaniği” kitaplarına bakılabilir). 1 noktası ile 2 noktası arasındaki yükseklik farkı ise $z_1 - z_2 = 60$ m olacaktır. Yani $z_2 = 0$ m değerindedir. Bu bilgiler kapsamında $P_1 = P_2$ ve $V_1 = V_2$ için mekanik enerji değişimi aşağıda verildiği gibi hesaplanır:

$$\Delta \dot{E}_{\text{mekanik}} = \dot{W}_{\text{çıkan}} = \dot{m} \left[v(P_1 - P_2) + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) \right]$$

$$\dot{W}_{\text{çıkan}} = \dot{m}g(z_2 - z_1) \rightarrow \dot{W}_{\text{çıkan}} = (5250 \text{ kg/s})(9.81 \text{ m/s}^2)(60 \text{ m})$$

$$\dot{W}_{\text{çıkan}} = 3090150 \text{ W} = 3090.15 \text{ kW}$$

Türbin için mekanik enerji değişimi mutlak değer içinde alınmalıdır. Bu sorunun çözümünde mekanik enerji değişimi pozitif çıkacak şekilde düzenlenmiştir. İdeal bir türbinde, sudaki mekanik enerji değişimi türbinden çıkan güç değerine eşit olacaktır. Sudaki yükseklik farkı ile orantılı olarak bir mekanik enerji değişimi sağlanmıştır ve bu mekanik güç türbin tarafından kullanılmıştır. Türbinden çıkan iş ile jeneratöre bağlı mil çalıştırılmış ve jeneratörden elektrik gücü çıkışı sağlanmıştır. Bu kapsamda türbin-jeneratör çiftinin toplam verimi aşağıda verildiği gibi belirlenir:

$$\eta_{\text{türbin-jeneratör}} = \frac{\dot{W}_{\text{elektrik}}}{\Delta \dot{E}_{\text{mekanik}}} = \frac{2000 \text{ kW}}{3090.15 \text{ kW}} = 0.65 \text{ (%65)}$$

(a) Türbin-jeneratör çiftinin birleşik verimi %65 olarak belirlenmiştir.

Birleşik verim değerinden yararlanılarak türbinin mekanik verimi aşağıda verildiği gibi hesaplanır:

$$\eta_{\text{türbin-jeneratör}} = (\eta_{\text{türbin}})(\eta_{\text{jeneratör}}) \rightarrow 0.65 = (\eta_{\text{türbin}})(0.96) \rightarrow \eta_{\text{türbin}} = 0.68 \text{ (%68)}$$

(b) Türbinin mekanik verimi %68 olarak belirlenmiştir.

Denklem (2.31) ile verilen eşitlikten yararlanılarak mil gücü çıkışı bulunabilir:

$$\eta_{\text{türbin}} = \frac{\dot{W}_{\text{mil, çıkan}}}{\Delta \dot{E}_{\text{mekanik}}} \rightarrow 0.68 = \frac{\dot{W}_{\text{mil, çıkan}}}{3090.15 \text{ kW}} \rightarrow \dot{W}_{\text{mil, çıkan}} = 2101.30 \text{ kW}$$

(c) Türbinden jeneratöre sağlanan mil gücü 2101.30 kW olarak belirlenmiştir.

Göldeki su kütlesi türbine 3090.15 kW değerinde mekanik güç değişimi sağlamış, türbin gücünün 2101.30 kW kadarı mil işine dönüşmüş ve milden jeneratöre sağlanan güç girişi ile jeneratörden 2000 kW değerinde elektrik gücü üretilmiştir. Tüm bu işlemlerin birleşik verimi ise %65 oranında olmuştur.