

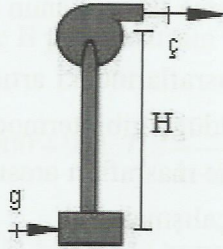
olacaktır. Eşitlik (6.13) yardımıyla sistemdeki her öge için ekserji maliyeti ayrı, ayrı hesaplanabilir. Bu ifadedeki *YYIM* o öge için birim zamanda (yıllık) tahmin edilen yatırım ve işletme maliyetidir.

ÖRNEK 6.3 Aynı miktarda suyu pompalamak için her birinin gücü 4.5 kW olan iki ayrı pompa düşünülmektedir. A pompasının maliyeti 3000 TL, ikinci kanun verimi %80, B pompasının maliyeti 5000 TL, ikinci kanun verimi de %90'dır. İki pompanın da fiziksel ömrünün 20 yıl, pompaların ikisi için de işletme masraflarının da yıllara göre dağılımının aşağıda tabloda verildiği gibi olacağı,

1.yıl	100 TL	6.yıl	200 TL	11.yıl	300 TL	16.yıl	400 TL
2. yıl	120 TL	7.yıl	220 TL	12.yıl	320 TL	17.yıl	420 TL
3. yıl	140 TL	8.yıl	240 TL	13.yıl	340 TL	18.yıl	440 TL
4. yıl	160 TL	9.yıl	260 TL	14.yıl	360 TL	19.yıl	460 TL
5. yıl	180 TL	10.yıl	280 TL	15.yıl	380 TL	20.yıl	480 TL

pompaların hurda maliyetleri olmadığı, yıllık faizin %20 ve kullanılan elektriğin fiyatı yaklaşık olarak $5 \times 10^{-5} TL/kJ$ olduğu varsayılıyor. Pompaların yıllık ürünlerinin birim akış ekserji başına ortalama maliyetini hesaplayınız.

ÇÖZÜM: Şekilde görülen adyabatik pompanın giriş ve çıkışında akışkanın termodinamik durumlarını 1 ve 2 olarak tanımlarsak pompa için Eşitlik (6.13) den,



$$c_g (\dot{m}a_a)_1 + YYIM = c_c (\dot{m}a_a)_2 + c_w \dot{W}_{kh}$$

olarak yazılabilir. Pompanın giriş ve çıkışında sisteme akan maddelerin birim akış ekserjilerinin maliyetidir eşit olacağından;

$$c_g = c_ç$$

ve Bölüm 5 de tanımladığımız gibi (birim zamanda) yılda üretilen

ÜRÜN 'ün ve tüketilen YAKIT 'tın akış eksercisi cinsinden ifadesi de;

$$\dot{U}RÜN = \dot{m}[(a_a)_2 - (a_a)_1]$$

$$YAKIT = -\dot{W}_{kh}$$

Olacaktır. Pompa için ekserji maliyeti Eşitliği,

$$Y\dot{Y}IM + c_{yakıt} YAKIT = c_{ürün} \dot{U}RÜN$$

indirgenir. Burada $c_{ürün} = c_g = c_ç$ ve $c_{yakıt} = c_w$ sırasıyla ürünün ve yakıtın birim akış ekserjilerinin maliyeti olarak tanımlanmıştır. İkinci kanun veriminin tanımı da göz önüne alınarak,

$$\varepsilon = \frac{\dot{U}RÜN}{YAKIT}$$

Ekserci maliyeti eşitliği tekrar düzenlenirse, pompa için ürünün maliyeti,

$$c_{ürün} = \frac{c_{yakıt}}{\varepsilon} + \frac{[Y\dot{Y}IM]}{\varepsilon [YAKIT]}$$

olarak elde edilir. Bu sonuçta göstermektedir ki, ikinci kanun verimi birden küçük olduğundan ÜRÜN'ÜN birim akış ekserjisinin maliyeti, YAKIT'ın birim akış ekserjisinin maliyetinden daha büyüktür. Ürünün maliyetini azaltmak için ikinci kanun verimini artırırsak ürün maliyetini veren

eşitlikteki $\frac{c_{yakıt}}{\varepsilon}$ terimi azalır, ama ikinci kanun verimini artırmak nedeniyle

yapılan yatırım ve işletme masraflarındaki artış nedeniyle ürünün maliyeti artmayabilir. Buradan da görüldüğü gibi, termoekonomide amaç YAKIT'ın masrafları ile yatırım ve işletme masrafları arasında denge kurularak ürünün maliyeti en aza indirgenmeye çalışmaktır.

Her yıl yapılacağı tahmin edilen işletme giderlerinin bu günkü değeri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

1.yıl $IG_1 \times \frac{1}{(1+i)^1}$	83.3 TL	11.yıl $IG_1 \times \frac{1}{(1+i)^{11}}$	40.4 TL
2.yıl $IG_2 \times \frac{1}{(1+i)^2}$	83.3 TL	12.yıl $IG_2 \times \frac{1}{(1+i)^{12}}$	35.9 TL
3.yıl $IG_3 \times \frac{1}{(1+i)^3}$	81.0 TL	13.yıl $IG_{13} \times \frac{1}{(1+i)^{13}}$	31.8 TL
4.yıl $IG_4 \times \frac{1}{(1+i)^4}$	77.2 TL	14.yıl $IG_{14} \times \frac{1}{(1+i)^{14}}$	28.0 TL
5.yıl $IG_5 \times \frac{1}{(1+i)^5}$	72.3 TL	15.yıl $IG_{15} \times \frac{1}{(1+i)^{15}}$	24.7 TL
6.yıl $IG_6 \times \frac{1}{(1+i)^6}$	67.0 TL	16.yıl $IG_{16} \times \frac{1}{(1+i)^{16}}$	21.6 TL
7.yıl $IG_7 \times \frac{1}{(1+i)^7}$	61.4 TL	17.yıl $IG_{17} \times \frac{1}{(1+i)^{17}}$	18.9 TL
8.yıl $IG_8 \times \frac{1}{(1+i)^8}$	55.8 TL	18.yıl $IG_{18} \times \frac{1}{(1+i)^{18}}$	16.5 TL
9.yıl $IG_9 \times \frac{1}{(1+i)^9}$	50.4 TL	19.yıl $IG_{19} \times \frac{1}{(1+i)^{19}}$	14.4 TL
10.yıl $IG_{10} \times \frac{1}{(1+i)^{10}}$	45.2 TL	20.yıl $IG_{20} \times \frac{1}{(1+i)^{20}}$	12.5 TL

Pompaların toplam işletme giderlerinin bu günlük değeri

$$TIG = \sum_{m=1}^{10} IG_m \times BDF(i, m) = 921.7 \text{ TL}$$

olacaktır. Bu değerlerle A ve B pompalarının toplam yıllık yatırım ve işletme giderleri;

$$A \text{ Pompası} \quad YYIM = [3000 + 921.7] \times \frac{0.20}{1 - (1 + 0.20)^{-20}} = 805.4 \text{ TL / yıl}$$

$$B \text{ Pompası} \quad YYIM = [5000 + 921.7] \times \frac{0.20}{1 - (1 + 0.20)^{-20}} = 1216.1 \text{ TL / yıl}$$

A ve B pompasının güçleri 4.5 kW olduğundan iki pompa da yılda,

$$[YAKIT] = 4.5 \frac{kJ (60 \times 60 \times 24) s}{s} \frac{360 \text{ gün}}{1 \text{ yıl}} = 1.4 \times 10^8 \frac{kJ}{\text{yıl}}$$

$[YAKIT]$ kullanacaktır. A ve B pompalarının ürünlerinin maliyeti Eşitlik (6.20) den

$$c_{ürün} = \frac{c_{yakıt}}{\varepsilon} + \frac{[YİM]}{\varepsilon [YAKIT]}$$

A → Pompası

$$c_{ürün} = \frac{5 \times 10^{-5} TL / kJ}{0.8} + \frac{805.4 TL / yıl}{0.8 \times 1.4 \times 10^8 kJ / yıl} = 6.969 \times 10^{-5} TL / kJ$$

$$c_{ürün} = 6.969 \times 10^{-5} TL / kJ \times 3600 kJ / kWh = 0.25 TL / kWh$$

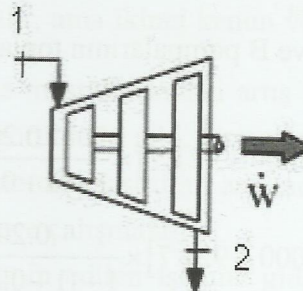
B → Pompası

$$c_{ürün} = \frac{5 \times 10^{-5} TL / kJ}{0.8} + \frac{1216.1 TL / yıl}{0.9 \times 1.4 \times 10^8 kJ / yıl} = 7.215 \times 10^{-5} TL / kJ$$

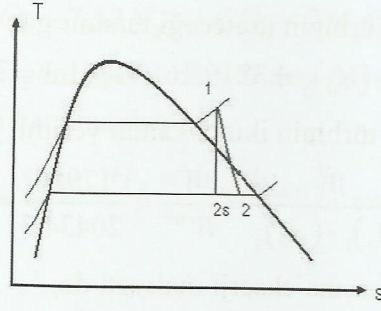
$$c_{ürün} = 7.215 \times 10^{-5} TL / kJ \times 3600 kJ / kWh = 0.26 TL / kWh$$

Düzeltir
→
✱

ORNEK 6.4 Şekilde görülen buhar türbinine akan buharın kütle debisi 25 kg/s , sıcaklığı 450°C ve basıncı da 5 MPa dır. Türbinden çıkan buharın basıncı 100 kPa , türbinin izentropik verimi de %85dir. Türbin için işletme ve yatırım giderlerinin toplamı yaklaşık 0.06 TL/s olarak tahmin ediliyor. Buhar üretiminin maliyeti ise $4 \times 10^{-5} \text{ TL/kJ}$ dir. Bu türbinin ürettiği ürünün (elektriğin) birim akış ekserji başına maliyetini hesaplayınız.



ÇÖZÜM: Aşağıda şekilde $T - s$ diyagramı verilen türbinin,



1, 2s ve 2 durumlarında ve sınırlı ölü durumda termodinamik özellikleri tablolardan,

$$T_1 = 450^\circ C$$

$$T_{2s} = 99.62^\circ C$$

$$P_1 = 5 \text{ MPa}$$

$$P_{2s} = 100 \text{ kPa}$$

$$h_1 = 3316 \text{ kJ / kg}$$

$$h_{2s} = 2474 \text{ kJ / kg}$$

$$s_1 = 6.818 \text{ kJ / kg.K}$$

$$s_{2s} = 6.818 \text{ kJ / kg.K}$$

$$T_2 = 99.62^\circ C$$

$$T_0 = 25^\circ C$$

$$P_2 = 100 \text{ kPa}$$

$$P_0 = 100 \text{ kPa}$$

$$h_2 = 2600 \text{ kJ / kg}$$

$$h_0 = 1004.9 \text{ kJ / kg}$$

$$s_2 = 7.158 \text{ kJ / kg.K}$$

$$s_0 = 0.3673 \text{ kJ / kg.K}$$

olarak okunur. Bu termodinamik özelliklerle türbin girişinde ve çıkışında su buharının akış ekserjisi

$$(A_a)_1 = (\dot{m}a_a)_1 = \dot{m}[(h_1 - h_0) - T_0 \times (s_1 - s_0)]$$

$$(A_a)_1 = 25[(3316 - 1004.9) - 298.15 \times (6.818 - 0.3673)] = 32195.6 \text{ kW}$$

$$(A_a)_2 = (\dot{m}a_a)_2 = \dot{m}[(h_2 - h_0) - T_0 \times (s_2 - s_0)]$$

$$(A_a)_2 = 25[(2600 - 1004.9) - 298.15 \times (7.158 - 0.3673)] = 11761.3 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır. Termodinamiğin birinci kanununda Türbinin üreteceği güç

$$\dot{W} = \dot{m}(h_1 - h_2) = 25 \times (3316 - 2600) = 17900 \text{ kW}$$

Ekserci denkleminde Türbinin üreteceği tersinir güç de,

$$\dot{W}^{ter} = (A_a)_1 - (A_a)_2 = 32195.6 - 11761.3 = 20434.3 \text{ kW}$$

olacaktır. Bu değerlerle türbinin ikinci kanun verimi

$$\varepsilon = \frac{\text{ÜRÜN}}{\text{YAKIT}} = \frac{\dot{W}}{(A_a)_1 - (A_a)_2} = \frac{\dot{W}}{\dot{W}^{ter}} = \frac{17900}{20434.3} = 0.876 \text{ (%87.6)}$$

olarak bulunur. Saniye başına ekserji maliyeti de,

$$c_g(\dot{m}_a)_1 + Y\dot{Y}IM = c_c(\dot{m}_a)_2 + c_w\dot{W}_{kh}$$

$$c_g(A_a)_1 + Y\dot{Y}IM = c_c(A_a)_2 + c_w\dot{W}$$

olarak ifade edilebilir. İş üretmek için türbine giren buharın ekserji maliyeti ve türbinden çıkan buharın ekserji maliyeti ikisi de türbin girişinde oluşur. Türbin giriş ve çıkışında birim ekserji başına ekserji maliyeti aynıdır. Yani,

$$c_g = c_c = c_{yakit}$$

bu sonucu ve ÜRÜN ve YAKIT tanımlarını da kullanarak ürünün birim ekserji başına maliyeti Eşitliğinde değerler yerlerine konulursa bu türbinin ürettiği elektriğin maliyeti

$$c_{ürün} = \frac{4 \times 10^{-5} TL / kJ}{0.876} + \frac{0.06 TL / s}{0.876 \times 20434.3 kW} = 4.9 \times 10^{-5} TL / kJ \left(0.17 \frac{TL}{kWh} \right)$$

olacaktır.

ORNEK 6.5 Metan CH_4 (gaz) bir buhar güç çevriminin kazanında 100% teorik hava ile yakılıyor. Güç çevriminin pompasından kazana gelen suyun sıcaklığı $25^\circ C$, basıncı $5 MPa$, sıvı Oktan ve yanmada kullanılan havanın sıcaklığı $25^\circ C$, basıncı $100 kPa$, kazandan çıkan yanma sonrası ürünlerinin sıcaklığı $727^\circ C$ basıncı $100 kPa$ ve kazandan çıkan kızgın buharın sıcaklığı $550^\circ C$, basıncı da $5 MPa$ dır. Suyun kütle debisi de 10 kg/s dır. Kazanın toplam işletme ve yatırım giderlerinin maliyeti $0.5 TL / s$, yakıtın birim ekserji başına maliyeti de $7 \times 10^{-7} TL / kJ$ olarak alınabilir. Ürünün (üretilen elektriğin) birim ekserji başına maliyetini hesaplayınız.

ÇÖZÜM: 100% hava ile yanmanın kimyasal eşitliği ,