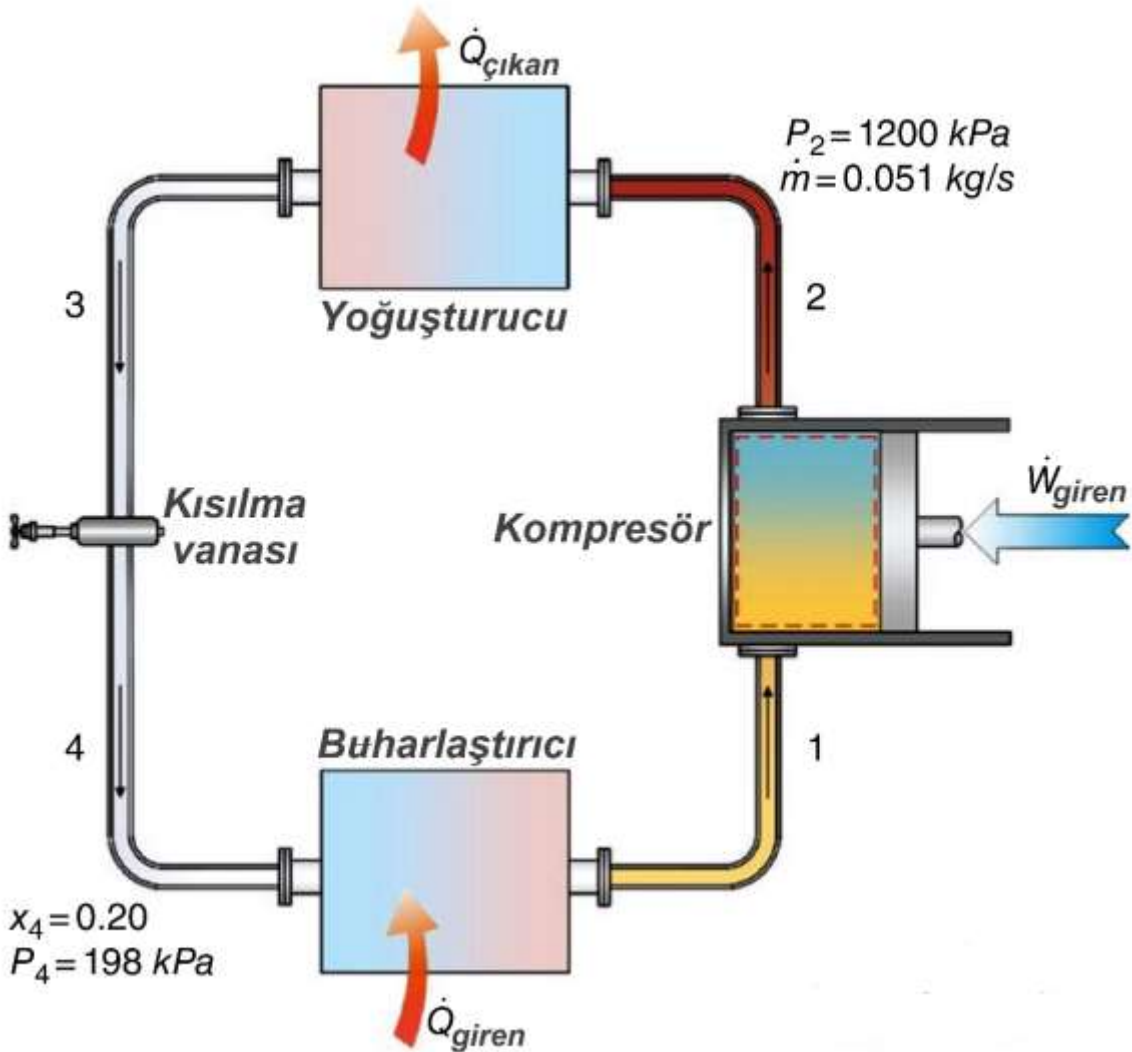


## SOĞUTMA ÇEVİRİMİ

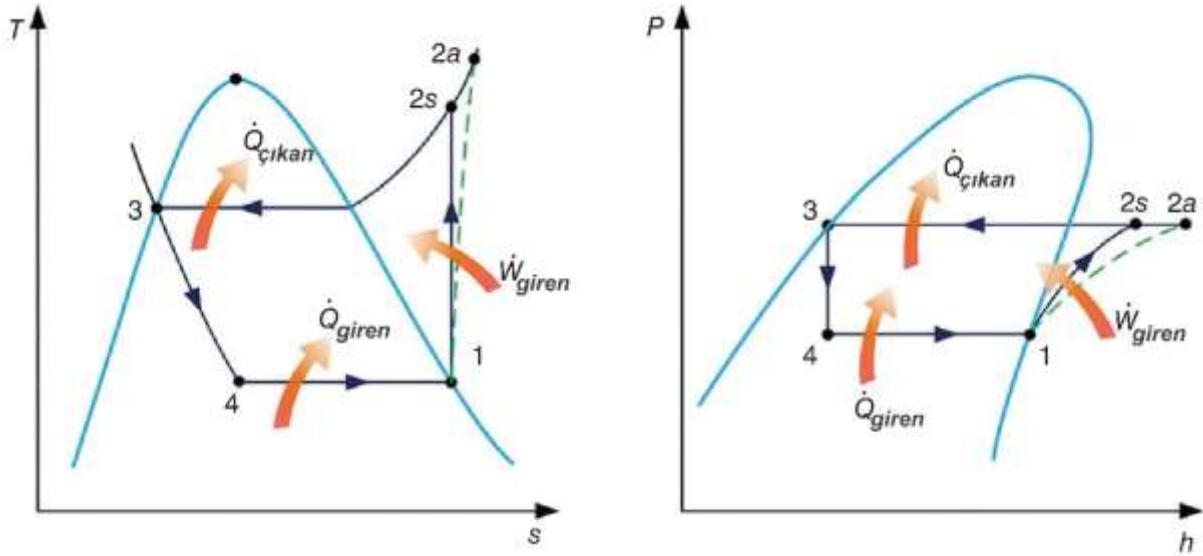
**Soru:** Şekil ile verilen soğutma sistemi, bir yoğuşturucuya **1200 kPa** basınç ve **0.051 kg/s** kütleli debide giren 134a (R134a) soğutucu akışkanını ile çalışmaktadır. Genleşme vanası (valfi) soğutucu akışkanını **198 kPa** basınca kadar genişletmektedir. Kompresörün izentropik verimi **%85** olarak ve buharlaştırıcıya giren soğutucu akışkanın kuruluk derecesi (kalitesi) **0.20** olarak alınabilir. Soğutucu akışkan buharlaştırıcıdan doymuş buhar olarak çıkmaktadır ve soğutma çevrimi, bir hacmi **-6°C** sıcaklıkta tutmak için kullanılmaktadır. Bileşenler arasındaki bağlantılarda oluşabilecek basınç düşüşü ve ısı transferi göz ardı edilebilir. Çevre sıcaklığı ve basıncı ise sırasıyla **10°C** ve **100 kPa** olarak alınabilir.

- Soğutma sistemindeki her eleman için kütle, enerji, entropi ve ekserji dengesi eşitliklerini yazınız.
- Yoğuşturucudan atılan ısı akımını [**kW**] ve kompresöre giren iş akımını [**kW**] olarak hesaplayınız.
- Her bir eleman için entropi üretimin akımını [**kW/K**] ve ekserji yıkım (yok oluş) akımını [**kW**] olarak bulunuz.
- Hem enerjik hem de ekserjetik performans katsayılarını ( $COP_{en}$  ve  $COP_{ek}$ ) hesaplayınız.



Soğutma çevriminin şematik gösterimi

## Çözüm:



Temel soğutma çevrimi için özellik diyagramları

[T (°C)-s (kJ/kgK) diyagramı ve P (kPa)-h (kJ/kg) diyagramı]

Temel soğutma sistemi; evaporatör (buharlaştırıcı), kompresör, kondenser (yoğuşturucu) ve genişleme (kısmi) vanası (valfi) olmak üzere dört ana bileşenden oluşur ve gerçekleşen dört temel süreç vardır:

1-2 sıkıştırma: Entropinin sabit kaldığı ideal koşullar altında izentropik sıkıştırma (1-2s) ve entropinin arttığı gerçek koşullar altında gerçek sıkıştırma (1-2a) işlemi. 1 ile 2 arasında çevrime iş girişi vardır. [Kompresör]

2-3 izobarik (sabit basınçta) ısı çıkışı: Buhar halindeki soğutucu akışkandan ısı çekildiği ve yoğuşan soğutucu akışkanın istenen sıcaklığa soğutulduğu işlem. [Yoğuşturucu]

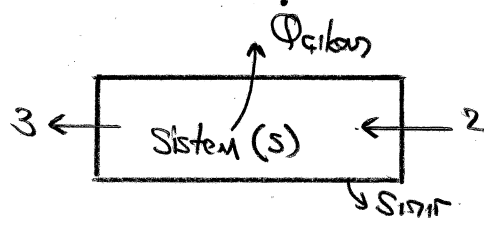
3-4 izantalpik (sabit entalpide) genişleme: Sıvı halindeki soğutucu akışkanın doymuş sıvı-doymuş buhar karışımı (ıslak buhar) haline getirildiği ve istenen bir basınca genişletildiği işlem. [Genişleme Vanası]

4-1 izobarik (sabit basınçta) ısı girişi: Soğutulan ortamdan ısı çekilmesi ile istenen soğutmanın sağlandığı işlem. [Buharlaştırıcı]

## a) Denge eşitlikleri

Kabuller: Kararlı (Sürekli) Durum  
Kararlı (Sürekli) Akış  
Kinetik Enerji Değişimi ve  
Potansiyel Enerji Değişimi İhmal.

## Kondensör (Yoğusturucu)



Kütle Dengesi Eşitliği:

$$\sum \dot{m}_{gires} - \sum \dot{m}_{çıkış} = \frac{dm_s}{dt} \quad (\text{kg/s})$$

$\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   
 $\dot{m}_2$   $\dot{m}_3$   $0$  (Sürekli akış)

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dot{m}$$

Enerji Dengesi Eşitliği:

$$\dot{E}_{gires} - \dot{E}_{çıkış} = \frac{dE_s}{dt} \quad (\text{J/s})$$

$\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   
 $\dot{E}_{kütle, gires}$   $\dot{E}_{kütle, çıkış}$   $0$  (Sürekli akış)  
 $\dot{\Phi}_{çıkış}$

$$\dot{E}_{kütle, gires} - \dot{E}_{kütle, çıkış} - \dot{\Phi}_{çıkış} = 0$$

$$\dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_3 h_3 - \dot{\Phi}_{çıkış} = 0$$

$$\dot{m} (h_2 - h_3) = \dot{\Phi}_{çıkış}$$

Entropi Dengesi Eşitliği:

$$\dot{S}_{gires} - \dot{S}_{çıkış} + \dot{S}_{üretim} = \frac{dS_s}{dt} \quad (\text{J/sK})$$

$\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   
 $\dot{S}_{gires, kütle}$   $\dot{S}_{çıkış, kütle}$   $0$  (Sürekli akış)  
 $\dot{S}_{çıkış, ısı}$

$$\dot{S}_{gires, k\ddot{u}tle} - \dot{S}_{cik\ddot{u}n, k\ddot{u}tle} - \dot{S}_{cik\ddot{u}n, ısı} + \dot{S}_{\ddot{u}retim} = 0$$

$$\dot{m}_2 s_2 - \dot{m}_3 s_3 - \frac{\dot{Q}_{cik\ddot{u}n}}{T_{y\ddot{u}g.}} + \dot{S}_{\ddot{u}retim} = 0$$

$$\dot{m}(s_3 - s_2) + \frac{\dot{Q}_{cik\ddot{u}n}}{T_{y\ddot{u}g.}} = \dot{S}_{\ddot{u}retim}$$

$T_{y\ddot{u}g.} \rightarrow T_{sıcak}, T_{\ddot{u}reme}$  veya  $T_{kayb}$  olabilir.

Ekserji Dengesi Eşitliği

$$\dot{X}_{gires} - \dot{X}_{cik\ddot{u}n} - \dot{X}_{yıkım} = \frac{dX_s}{dt} \quad (J/s)$$

$\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   
 $\dot{X}_{gires, k\ddot{u}tle}$   $\dot{X}_{cik\ddot{u}n, k\ddot{u}tle}$   $\dot{X}_{cik\ddot{u}n, ısı}$   $\downarrow$   $\dot{X}_{yıkım}$

$\downarrow$   $\circ$  (Sürekli akış)

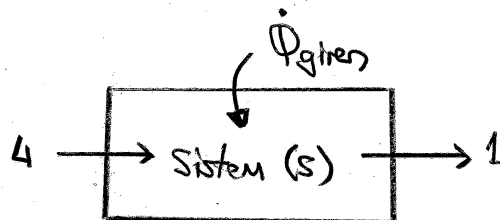
$$\dot{X}_{gires, k\ddot{u}tle} - \dot{X}_{cik\ddot{u}n, k\ddot{u}tle} - \dot{X}_{cik\ddot{u}n, ısı} - \dot{X}_{yıkım} = 0$$

$$\dot{m}_2 (h_2 - h_0) - \dot{m}_2 T_0 (s_2 - s_0) - \dot{m}_3 (h_3 - h_0) + \dot{m}_3 T_0 (s_3 - s_0) - \dot{Q}_{cik\ddot{u}n} \left(1 - \frac{T_0}{T_{y\ddot{u}g.}}\right) = \dot{X}_{yıkım}$$

$$\dot{m} (h_2 - h_3) - \dot{m} T_0 (s_2 - s_3) - \dot{Q}_{cik\ddot{u}n} \left(1 - \frac{T_0}{T_{y\ddot{u}g.}}\right) = \dot{X}_{yıkım}$$

$$\dot{X}_{yıkım} = T_0 \cdot \dot{S}_{\ddot{u}retim}$$

### Evaporatör (Buharlaştırıcı)



Kütle Dengesi Eşitliği:

$$\sum \dot{m}_{gires} - \sum \dot{m}_{cik\ddot{u}n} = \frac{dm_s}{dt} \quad (kg/s)$$

$\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   
 $\dot{m}_4$   $\dot{m}_1$   $\downarrow$   $\dot{X}_{yıkım}$

$\downarrow$   $\circ$  (Sürekli akış)

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_1 = \dot{m}$$

Enerji Dengesi Esitligi:

$$\dot{E}_{gires} - \dot{E}_{cikar} = \frac{dE_s}{dt} \quad (J/s)$$

$\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   
 $\dot{E}_{kitle,gires}$   $\dot{E}_{kitle,cikar}$   $0$  (Sürekli akis)  
 $\dot{Q}_{gires}$

$$\dot{E}_{kitle,gires} - \dot{E}_{kitle,cikar} + \dot{Q}_{gires} = 0$$

$$\dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_1 h_1 + \dot{Q}_{gires} = 0$$

$$\boxed{\dot{Q}_{gires} = \dot{m} (h_1 - h_4)}$$

Entropi Dengesi Esitligi:

$$\dot{S}_{gires} - \dot{S}_{cikar} + \dot{S}_{iretim} = \frac{dS_s}{dt} \quad (J/sK)$$

$\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   
 $\dot{S}_{gires,kitle}$   $\dot{S}_{cikar,kitle}$   $0$  (Sürekli akis)  
 $\dot{S}_{gires,isi}$

$$\dot{S}_{gires,kitle} - \dot{S}_{cikar,kitle} + \dot{S}_{gires,isi} + \dot{S}_{iretim} = 0$$

$$\dot{m}_4 s_4 - \dot{m}_1 s_1 + \frac{\dot{Q}_{gires}}{T_{boh.}} + \dot{S}_{iretim} = 0$$

$$\boxed{\dot{S}_{iretim} = \dot{m} (s_1 - s_4) - \frac{\dot{Q}_{gires}}{T_{boh.}}}$$

$T_{boh.} \rightarrow T_{kaynak}$  sabittir.

Eksanjeri Dengesi Esitligi:

$$\dot{X}_{gires} - \dot{X}_{cikar} - \dot{X}_{yikil} = \frac{dX_s}{dt} \quad (J/s)$$

$\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   
 $\dot{X}_{gires,kitle}$   $\dot{X}_{cikar,kitle}$   $0$  (Sürekli akis)  
 $\dot{X}_{gires,isi}$

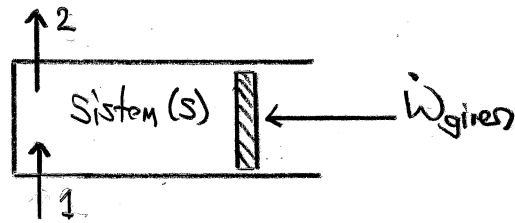
$$\dot{X}_{gires, k\u00fctle} - \dot{X}_{cikis, k\u00fctle} + \dot{X}_{gires, isi} - \dot{X}_{cikis, isi} = 0$$

$$\dot{m}_4 (h_4 - h_0) - \dot{m}_4 T_0 (s_4 - s_0) - \dot{m}_1 (h_1 - h_0) + \dot{m}_1 T_0 (s_1 - s_0)$$

$$+ \dot{Q}_{gires} \left(1 - \frac{T_0}{T_{k\u00fcb.}}\right) = \dot{X}_{cikis}$$

$$\dot{X}_{cikis} = \dot{m} (h_4 - h_1) - \dot{m} T_0 (s_4 - s_1) + \dot{Q}_{gires} \left(1 - \frac{T_0}{T_{k\u00fcb.}}\right) \rightarrow \dot{X}_{cikis} = T_0 \cdot \dot{S}_{iret\u00f6r}$$

## Kompres\u00f6r



K\u00fctle Dengesi Esitli\u011fi:

$$\sum \dot{m}_{gires} - \sum \dot{m}_{cikis} = \frac{dm_s}{dt} \quad (\text{kg/s})$$

$\downarrow$                        $\downarrow$                        $\downarrow$   
 $\dot{m}_1$                        $\dot{m}_2$                       0 (S\u00fcrekli ak\u00fcs)

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$

Enerji Dengesi Esitli\u011fi:

$$\dot{E}_{gires} - \dot{E}_{cikis} = \frac{dE_s}{dt} \quad (\text{J/s})$$

$\downarrow$                        $\downarrow$                        $\downarrow$   
 $\dot{E}_{k\u00fctle, gires}$                        $\dot{E}_{k\u00fctle, cikis}$                       0 (S\u00fcrekli ak\u00fcs)

$\dot{W}_{gires}$

$$\dot{E}_{k\u00fctle, gires} - \dot{E}_{k\u00fctle, cikis} + \dot{W}_{gires} = 0$$

$$\dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_2 h_2 + \dot{W}_{gires} = 0$$

$$\dot{W}_{gires} = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

Entropi Dengesi Eşitliği:

$$\dot{S}_{giren} - \dot{S}_{çikan} + \dot{S}_{iretim} = \frac{dS_s}{dt} \quad (J/sK)$$

$\downarrow$                        $\downarrow$                        $\downarrow$   
 $\dot{S}_{giren, kiste}$        $\dot{S}_{çikan, kiste}$        $0$  (Süreklilik akışı)

$$\dot{S}_{giren, kiste} - \dot{S}_{çikan, kiste} + \dot{S}_{iretim} = 0$$

$$\dot{m}_1 s_1 - \dot{m}_2 s_2 + \dot{S}_{iretim} = 0$$

$$\dot{S}_{iretim} = \dot{m} (s_2 - s_1)$$

Ekserji Dengesi Eşitliği:

$$\dot{X}_{giren} - \dot{X}_{çikan} - \dot{X}_{yikim} = \frac{dX_s}{dt} \quad (J/s)$$

$\downarrow$                        $\downarrow$                        $\downarrow$   
 $\dot{X}_{giren, kiste}$        $\dot{X}_{çikan, kiste}$        $0$  (Süreklilik akışı)

$\dot{W}_{giren} - \dot{W}_{çevre}$

$$\dot{X}_{giren, kiste} - \dot{X}_{çikan, kiste} + \dot{W}_{giren} - \dot{W}_{çevre} - \dot{X}_{yikim} = 0$$

$$\dot{m}_1 (h_1 - h_0) - \dot{m}_1 T_0 (s_1 - s_0) - \dot{m}_2 (h_2 - h_0) + \dot{m}_2 T_0 (s_2 - s_0)$$

$$+ \dot{W}_{giren} - \dot{W}_{çevre} - \dot{X}_{yikim} = 0$$

$$\dot{X}_{yikim} = \dot{m} (h_1 - h_2) - \dot{m} T_0 (s_1 - s_2) + \dot{W}_{giren} - \dot{m} P_0 (v_b - v_a)$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2, \quad v_a = v_b \quad \text{ve} \quad \dot{W}_{giren} = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad \text{ise};$$

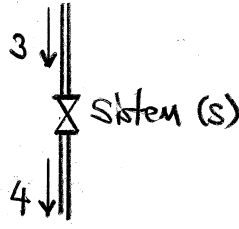
$$\dot{X}_{yikim} = \dot{m} T_0 (s_2 - s_1) \rightarrow \dot{X}_{yikim} = T_0 \cdot \dot{S}_{iretim}$$

## Genleşme Vanası

Kütle Dengesi Eşitliği:

$$\sum \dot{M}_{giren} - \sum \dot{M}_{çıkan} = \frac{dM_s}{dt} \text{ (kg/s)}$$

$\downarrow$   $\dot{m}_3$                        $\downarrow$   $\dot{m}_4$                        $\downarrow$  0 (Sürekli akış)



$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}$$

Enerji Dengesi Eşitliği:

$$\dot{E}_{giren} - \dot{E}_{çıkan} = \frac{dE_s}{dt} \text{ (J/s)}$$

$\downarrow$   $\dot{E}_{kütles,giren}$                        $\downarrow$   $\dot{E}_{kütles,çıkan}$                        $\downarrow$  0 (Sürekli akış)

$$\dot{E}_{kütles,giren} - \dot{E}_{kütles,çıkan} = 0$$

$$\dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_4 h_4 = 0 \rightarrow \boxed{h_3 = h_4} \text{ (izentalpik işlem)}$$

(Isenthalpic process)

Entropi Dengesi Eşitliği:

$$\dot{S}_{giren} - \dot{S}_{çıkan} + \dot{S}_{iretim} = \frac{dS_s}{dt} \text{ (J/sK)}$$

$\downarrow$   $\dot{S}_{giren,kütle}$                        $\downarrow$   $\dot{S}_{çıkan,kütle}$                        $\downarrow$  0 (Sürekli akış)

$$\dot{S}_{giren,kütle} - \dot{S}_{çıkan,kütle} + \dot{S}_{iretim} = 0$$

$$\dot{m}_3 s_3 - \dot{m}_4 s_4 + \dot{S}_{iretim} = 0 \rightarrow \boxed{\dot{S}_{iretim} = \dot{m} (s_4 - s_3)}$$

Ekserji Dengesi Eşitliği:

$$\dot{X}_{giren} - \dot{X}_{çıkan} - \dot{X}_{yıkım} = \frac{dX_s}{dt} \text{ (J/s)}$$

$\downarrow$   $\dot{X}_{giren,kütle}$                        $\downarrow$   $\dot{X}_{çıkan,kütle}$                        $\downarrow$  0 (Sürekli akış)



$$\dot{X}_{gires, kütke} - \dot{X}_{cikis, kütke} - \dot{X}_{yikim} = 0$$

$$\dot{m}_3 (h_3 - h_0) - \dot{m}_3 T_0 (s_3 - s_0) - \dot{m}_4 (h_4 - h_0) + \dot{m}_4 T_0 (s_4 - s_0) - \dot{X}_{yikim} = 0$$

$$\dot{m} (h_3 - h_4) - \dot{m} T_0 (s_3 - s_4) - \dot{X}_{yikim} = 0$$

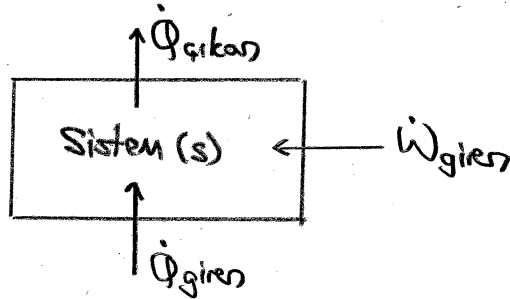
$$\dot{X}_{yikim} = \dot{m} (h_3 - h_4) - \dot{m} T_0 (s_3 - s_4)$$

$$h_3 = h_4 \text{ ise}$$

$$\dot{X}_{yikim} = \dot{m} T_0 (s_4 - s_3)$$

$$\dot{X}_{yikim} = T_0 \cdot \dot{S}_{sistem}$$

Geçirim



Kütle Dengesi Eşitliği:

$$\sum \dot{m}_{gires} - \sum \dot{m}_{cikis} = \frac{dm_s}{dt} \text{ (kg/s)}$$

0 (Sistemde kütle artışı/azalışı yoktur).

Sistem sınırından giren/cikis kütleli debi yoktur.

Sistemde:  $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}$  (Debi zamanla değişmiyor).

Enerji Dengesi Eşitliği:

$$\dot{E}_{gires} - \dot{E}_{cikis} = \frac{dE_s}{dt} \text{ (J/s} \equiv \text{W)}$$

0 (Sistemin enerjisi zaman ile değişmiyor).  
Geçirmede  $dE_s/dt = 0 \text{ W}$

$$\dot{Q}_{gires} - \dot{Q}_{cikis} + \dot{W}_{gires} = 0 \rightarrow \dot{W}_{gires} = \dot{Q}_{cikis} - \dot{Q}_{gires}$$

Entropi Dengesi Eşitliği:

$$\dot{S}_{giren} - \dot{S}_{çıkan} + \dot{S}_{iretim} = \frac{dS_s}{dt} \quad (J/sK \equiv W/K)$$

$\downarrow$                        $\downarrow$                        $\downarrow$   
 $\dot{S}_{giren, ISI}$                        $\dot{S}_{çıkan, ISI}$                       0 (Zamanla sistemin entropisi değişmiyor).

$$\dot{S}_{giren, ISI} - \dot{S}_{çıkan, ISI} + \dot{S}_{iretim} = 0$$

$$\frac{\dot{Q}_{giren}}{T_{buh.}} - \frac{\dot{Q}_{çıkan}}{T_{yog.}} + \dot{S}_{iretim} = 0$$

$$\dot{S}_{iretim} = \frac{\dot{Q}_{çıkan}}{T_{yog.}} - \frac{\dot{Q}_{giren}}{T_{buh.}}$$

$$\dot{S}_{iretim} = \dot{S}_{iretim, yog.} + \dot{S}_{iretim, buh.} + \dot{S}_{iretim, komp.} + \dot{S}_{iretim, gest. val.}$$

Ekserji Dengesi Eşitliği:

$$\dot{X}_{giren} - \dot{X}_{çıkan} - \dot{X}_{yikim} = \frac{dX_s}{dt} \quad (J/s \equiv W)$$

$\downarrow$                        $\downarrow$                        $\downarrow$   
 $\dot{X}_{giren, ISI}$                        $\dot{X}_{çıkan, ISI}$                       0 (Zamanla sistemin ekserjisi değişmiyor)  
 $\dot{W}_{giren} - \dot{W}_{çevre}$                        $\dot{W}_{giren} - \dot{W}_{çevre}$

Çevrimde:  $\frac{dX_s}{dt} = 0$  W

$$\dot{X}_{giren, ISI} - \dot{X}_{çıkan, ISI} + \dot{W}_{giren} - \dot{W}_{çevre} - \dot{X}_{yikim} = 0$$

$$\dot{Q}_{giren} \left(1 - \frac{T_0}{T_{buh.}}\right) - \dot{Q}_{çıkan} \left(1 - \frac{T_0}{T_{yog.}}\right) + \dot{W}_{giren} - \dot{W}_{çevre} - \dot{X}_{yikim} = 0$$

$$\dot{W}_{çevre} = mP(u_b - u_a) \leq 0 \quad (u_b = u_a \text{ olduğu için})$$

$$\dot{X}_{yikim} = \dot{Q}_{giren} \left(1 - \frac{T_0}{T_{buh.}}\right) - \dot{Q}_{çıkan} \left(1 - \frac{T_0}{T_{yog.}}\right) + \dot{W}_{giren}$$

$$\dot{X}_{\text{yıkım}} = \dot{X}_{\text{yıkım}}^{\text{yığı.}} + \dot{X}_{\text{yıkım}}^{\text{bob.}} + \dot{X}_{\text{yıkım}}^{\text{komp.}} + \dot{X}_{\text{yıkım}}^{\text{gen.val.}}$$

$$\dot{X}_{\text{yıkım}} = T_0 \cdot \dot{S}_{\text{üretim}}$$

### b) Çıkan ısı ve girer iş hesabı

R134a özellikleri kapsamında hesaplamalar yapılacaktır.

Bir ısı değiştirici olan buharlaştırıcıda giriş basıncı, çıkış basıncına eşit alınır.

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = P_4 = 198 \text{ kPa} \\ x_1 = 1,0 \end{array} \right\} \text{Doymuş buhar noktası.}$$

$$h_1 = h_g = 243,50 \text{ kJ/kg}$$

$$s_1 = s_g = 0,9381 \text{ kJ/kgK}$$

$$v_1 = v_g = 0,100975 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$u_1 = u_g = 223,57 \text{ kJ/kg}$$

Tablo A12

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 1200 \text{ kPa} \\ s_{2s} = s_1 = 0,9381 \text{ kJ/kgK} \end{array} \right\} \text{İzotropik durum için, } h_{2s} \text{ 'nin bulunması.}$$

$$1200 \text{ kPa için } s_g = 0,91320 \text{ kJ/kgK (Tablo A12)}$$

$$s_{2s} > s_g \rightarrow \text{Kılgın buhar bölgesi}$$

$$\text{Tablo A13} \rightarrow P_2 = 1,2 \text{ MPa için interpolasyon ile}$$

$$h_{2s} = 281,97 \text{ kJ/kg}$$

Kompresörün izotropik verimi  $\eta_k = 0,85$

$$\eta_k = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \rightarrow 0,85 = \frac{(281,97 - 243,50) \text{ kJ/kg}}{(h_2 - 243,50) \text{ kJ/kg}}$$

$$h_2 = 288,76 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 1,2 \text{ MPa} \\ h_2 = 288,76 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\} \text{Kılgın buhar bölgesi (Tablo A13)}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Interpolasyon ile} \end{array} \right\}$$

$$s_2 = 0,9588 \text{ kJ/kgK}$$

$$P_4 = 198 \text{ kPa} \left. \vphantom{P_4} \right\} \text{Islak buhar bölgesi}$$

$$x_4 = 0,20$$

198 kPa için

$$s_f = 0,1463 \text{ kJ/kgK}$$

$$s_g = 0,9381 \text{ kJ/kgK}$$

$$h_f = 36,2431 \text{ kJ/kg}$$

$$h_g = 243,4986 \text{ kJ/kg}$$

Tablo A12

$$s_4 = s_f + x_4(s_g - s_f)$$

$$s_4 = (0,1463 \text{ kJ/kgK}) + (0,20)(0,9381 - 0,1463) \text{ kJ/kgK}$$

$$s_4 = 0,3047 \text{ kJ/kgK}$$

$$h_4 = h_f + x_4(h_g - h_f)$$

$$h_4 = (36,2431 \text{ kJ/kg}) + (0,20)(243,4986 - 36,2431) \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = 77,6942 \text{ kJ/kg}$$

Bir ısı değiştirici olan yoğuşturucuda giriş basıncı, çıkış basıncını eşit alının.

$$P_2 = P_3 = 1200 \text{ kPa}$$

$$h_3 = h_4 = 77,6942 \text{ kJ/kg}$$

Genleşmevarası için

$$1200 \text{ kPa için } h_f = 117,7900 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Tablo A12 } h_g = 273,9200 \text{ kJ/kg}$$

$h_3 < h_f \rightarrow$  Sıkıştırılmış sıvı bölgesi

Tablo A11  $h_f \approx h_3 = 77,6942 \text{ kJ/kg}$  için

İnterpolasyon ile  $T_3 = 18,84^\circ\text{C}$

$$s_3 \approx s_f = 0,2917 \text{ kJ/kgK}$$

$$\text{Çıkan ısı: } \dot{Q}_{\text{çıkış}} = \dot{m}(h_2 - h_3) = (0,051 \text{ kg/s})(288,76 - 77,6942) \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{\text{çıkış}} = 10,76 \text{ kW}$$

$$\text{Giren iş: } \dot{W}_{\text{giren}} = \dot{m}(h_2 - h_1) = (0,051 \text{ kg/s})(288,76 - 243,50) \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{W}_{\text{giren}} = 2,31 \text{ kW}$$

c) Entropi üretimi ve ekserji yıkımı hesabı:

Yoğusturucu

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{m}(s_3 - s_2) + \frac{\dot{Q}_{\text{çıkış}}}{T_{\text{yoğ.}}} \rightarrow T_{\text{yoğ.}} = T_{\text{çevre}} = 10^\circ\text{C} = 283,15\text{K}$$

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = (0,051\text{ kg/s})(0,2917 - 0,9588)\text{ kJ/kgK} + \frac{10,76\text{ kW}}{283,15\text{ K}}$$

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = 3,98 \cdot 10^{-3}\text{ kW/K}$$

$$(T_0 = 283,15\text{ K})$$

$$\dot{X}_{\text{yıkım}} = \dot{m}(h_2 - h_3) - \dot{m}T_0(s_2 - s_3) - \dot{Q}_{\text{çıkış}}\left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{yoğ.}}}\right)$$

$$\dot{X}_{\text{yıkım}} = (0,051\text{ kg/s})(288,76 - 77,6942)\text{ kJ/kg} - (0,051\text{ kg/s}) \cdot (283,15\text{ K})(0,9588 - 0,2917)\text{ kJ/kgK} - (10,76\text{ kW}) \left[1 - \frac{283,15\text{ K}}{283,15\text{ K}}\right]$$

$$\dot{X}_{\text{yıkım}} = 1,13\text{ kW}$$

$$\dot{X}_{\text{yıkım}} = \dot{I} = T_0 \cdot \dot{S}_{\text{üretim}} = (283,15\text{ K})(3,98 \cdot 10^{-3}\text{ kW/K}) = \underline{\underline{1,13\text{ kW}}}$$

Boharlaştırıcı

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{m}(s_1 - s_4) - \frac{\dot{Q}_{\text{giren}}}{T_{\text{boh.}}} \rightarrow T_{\text{boh.}} = -6^\circ\text{C} = 267,15\text{K}$$

$$\dot{Q}_{\text{giren}} = \dot{m}(h_1 - h_4) = (0,051\text{ kg/s})(243,50 - 77,6942)\text{ kJ/kg} = 8,456\text{ kW}$$

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = (0,051\text{ kg/s})(0,9381 - 0,3047)\text{ kJ/kgK} - \frac{8,456\text{ kW}}{267,15\text{ K}}$$

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = 6,51 \cdot 10^{-4}\text{ kW/K}$$

$$\dot{X}_{\text{yıkım}} = \dot{m}(h_4 - h_1) - \dot{m}T_0(s_4 - s_1) + \dot{Q}_{\text{giren}} \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{buh.}}}\right)$$

$$\begin{aligned} \dot{X}_{\text{yıkım}} &= (0,051 \text{ kg/s})(77,6942 - 243,50) \text{ kJ/kg} \\ &\quad - (0,051 \text{ kg/s})(283,15 \text{ K})(0,3047 - 0,9381) \text{ kJ/kg K} \\ &\quad + (8,456 \text{ kW}) \left(1 - \frac{283,15 \text{ K}}{267,15 \text{ K}}\right) \end{aligned}$$

$$\boxed{\dot{X}_{\text{yıkım}} = 0,184 \text{ kW}}$$

$$\begin{aligned} \dot{X}_{\text{yıkım}} &= \dot{I} = T_0 \cdot \dot{S}_{\text{zıretim}} \\ &= (283,15 \text{ K})(6,51 \cdot 10^{-4} \text{ kW/K}) \\ &= \underline{\underline{0,184 \text{ kW}}} \end{aligned}$$

### Kompresör

$$\begin{aligned} \dot{S}_{\text{zıretim}} &= \dot{m}(s_2 - s_1) \\ &= (0,051 \text{ kg/s})(0,9588 - 0,9381) \text{ kJ/kg K} \end{aligned}$$

$$\boxed{\dot{S}_{\text{zıretim}} = 1,06 \cdot 10^{-3} \text{ kW/K}}$$

$$\dot{X}_{\text{yıkım}} = \dot{m}T_0(s_2 - s_1) = (0,051 \text{ kg/s})(283,15 \text{ K})(0,9588 - 0,9381) \text{ kJ/kg K}$$

$$\boxed{\dot{X}_{\text{yıkım}} = 0,299 \text{ kW}}$$

$$\begin{aligned} \dot{X}_{\text{yıkım}} &= \dot{I} = T_0 \cdot \dot{S}_{\text{zıretim}} \\ &= (283,15 \text{ K})(1,06 \cdot 10^{-3} \text{ kW/K}) \\ &= \underline{\underline{0,299 \text{ kW}}} \end{aligned}$$

### Genleşme Vanası

$$\dot{S}_{\text{zıretim}} = \dot{m}(s_4 - s_3) = (0,051 \text{ kg/s})(0,3047 - 0,2917) \text{ kJ/kg K}$$

$$\boxed{\dot{S}_{\text{zıretim}} = 6,63 \cdot 10^{-4} \text{ kW/K}}$$

$$\begin{aligned} \dot{X}_{\text{yıkım}} &= \dot{I} = T_0 \cdot \dot{S}_{\text{zıretim}} = \dot{m}T_0(s_4 - s_3) \\ &= (283,15 \text{ K})(6,63 \cdot 10^{-4} \text{ kW/K}) \end{aligned}$$

$$\boxed{\dot{X}_{\text{yıkım}} = 0,188 \text{ kW}}$$

c) Enerjetik ve ekserjetik performans katsayıları (soğutma etkinlik katsayıları)

$$COP_{es} = \frac{\dot{Q}_{giren}}{\dot{W}_{giren}} = \frac{8,456 \text{ kW}}{2,31 \text{ kW}} = 3,66$$

$$COP_{es} = 3,66$$

2,31 kW'lık güç girişine karşılık, bu güç girişinin 3,66 katı kadar soğutulan ortamdaki enerji çıkar.

$$\begin{aligned} \textcircled{1} \quad COP_{ek} &= \frac{\dot{X}_{giren,ısı}}{\dot{W}_{giren}} = \frac{\dot{Q}_{giren} \left(1 - \frac{T_o}{T_{boh.}}\right)}{\dot{W}_{giren}} \\ &= \frac{(8,456 \text{ kW}) \left(1 - \frac{283,15 \text{ K}}{267,15 \text{ K}}\right)}{2,31 \text{ kW}} = \frac{0,5064 \text{ W}}{2,31 \text{ W}} \\ &= 0,22 \end{aligned}$$

$$COP_{ek} = 0,22$$

Soğutma çevrimlerinde  $T_{boh.} < T_o$  olduğu için;  $\dot{X}_{giren,ısı}$  ifadesinin mutlak değeri alınarak  $COP_{ek}$  hesaplanır.

$$\textcircled{2} \quad COP_{tr} = \frac{1}{\frac{T_o}{T_{boh}} - 1} = \frac{1}{\frac{283,15 \text{ K}}{267,15 \text{ K}} - 1} = 16,697 \quad (\text{Tersinir soğutma etkinlik katsayısı})$$

$$COP_{ek} = \frac{COP_{es}}{COP_{tr}} = \frac{3,66}{16,697} = \underline{\underline{0,22}}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{3} \quad \dot{X}_{yıkım \text{ çevrim}} &= \dot{X}_{yıkım \text{ soğ.}} + \dot{X}_{yıkım \text{ boh.}} + \dot{X}_{yıkım \text{ gen. von.}} + \dot{X}_{yıkım \text{ komp.}} \\ &= 1,13 + 0,184 + 0,188 + 0,299 \\ &= 1,801 \text{ W} \end{aligned}$$

$$COP_{ek} = 1 - \frac{\dot{X}_{yıkın}}{\dot{W}_{giren}}$$

$$COP_{ek} = 1 - \frac{1,801 \text{ W}}{2,31 \text{ W}} = \underline{\underline{0,22}}$$

$\eta_{II} = COP_{ek} \rightarrow$  Ekserjetik performans katsayısı, ikinci yasa verimidir. (Ekserjetik verimdir).

$COP_{en} \rightarrow$  Gerçek soğutma etkinlik katsayısı

$COP_{tr} \rightarrow$  En yüksek (tersbir-ideal) soğutma etkinlik katsayısı.

Sonuç,  $COP_{tr}$  değerinin ancak 0,22 katı kadar  $COP_{en}$  elde edilmiştir.



## YARARLANILAN KAYNAKLAR:

**“Thermodynamics: A Smart Approach”**, Ibrahim Dincer, John Wiley, 2021.

**“Thermodynamics: An Engineering Approach”**, 9th Edition, Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Mehmet Kanoglu, McGraw-Hill Education, 2019.

**“Termodinamiğin Temelleri”**, SI Basım, Claus Borgnakke, Richard E. Sonntag, Sekizinci Baskıdan Çeviri, (Hüseyin Günerhan, çeviri editörü yardımcılar arasında yer almaktadır), Palme Yayıncılık, 2018, Ankara.

**“Principles of Engineering Thermodynamics”**, SI Edition, John R. Reisel, Cengage Learning, 2016.

**“Termodinamik-Mühendislik Yaklaşımıyla”**, Yedinci Baskıdan Çeviri, (Hüseyin Günerhan, editör yardımcılar arasında yer almaktadır), Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Palme Yayıncılık, 2015.

**“Engineering Thermodynamics”**, 8th Edition, Michael J. Moran, Howard N. Shapiro, John Wiley, 2014.

<https://www.huseyingunerhan.com/termo2/termo2.html> sayfasında verilen “Termodinamik II” dersine ait tüm ders notlarının bazı bölümleri yukarıda verilen kitaplardan ve/veya ilgili sunumlarından yararlanılarak veya ilham alınarak hazırlanmıştır.

*“Termodinamik II” derslerine ait bilgi notları; Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Hüseyin GÜNERHAN tarafından çeşitli kaynaklardan da yararlanılarak ve emek ve zaman harcanarak hazırlanmış özgün bir eserdir. İzin alınmadan çoğaltılması ve kullanılması telif hakları gereği yasaktır.*

*(Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu, Kanun Numarası: 5846, Kabul Tarihi: 5/12/1951, Yayımlandığı Resmi Gazete: 13/12/1951 Sayı: 7981, Yayımlandığı Düstur: Tertip 3 Cilt 33 Sayfa 49).*