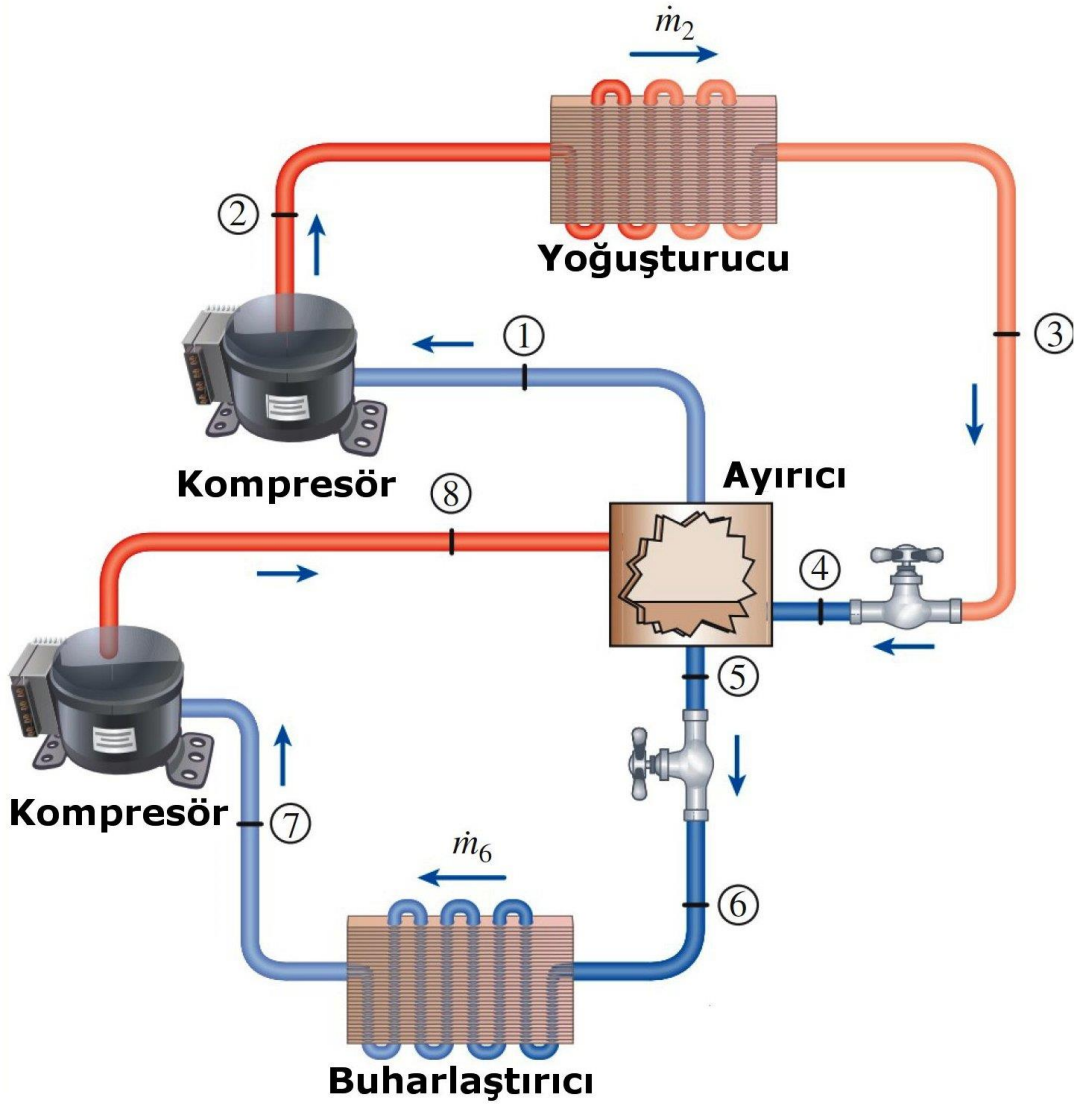


Gelişmiş Soğutma Sistemleri

Soru: Şekil ile verildiği gibi adyabatik bir sıvı-buhar ayırma elemanına sahip iki kademeli basınçlı soğutma sisteminde çalışma akışkanı olarak R-134a soğutucu akışkanı kullanılmaktadır. Sistemde, buharlaştırıcı -40°C sıcaklıkta, yoğusturucu 800 kPa basınçta ve ayırıcı (seperatör) -10.1°C sıcaklıkta çalışmaktadır. Bu sistem için 30 kW değerinde bir soğutma yükü verilmiştir. İki kompresörün her birindeki kütleli debiyi $[\text{kg/s}]$ olarak ve kompresörler tarafından kullanılan gücü $[\text{kW}]$ olarak belirleyiniz ve sistemin COP değerini hesaplayınız. Soğutucu akışkanı, her genleşme vanasının girişinde doymuş sıvı ve her kompresörün girişinde doymuş buhar olarak alınız. Kompresörleri ise izantropik olarak değerlendiriniz.



Çözüm:

* Kompresör girişleri: doymuş buhar (DB), 1 ve 7 noktaları için.

* Ayırıcı: 1 çıkışı (DB) $\rightarrow -10,1^\circ\text{C}$

5 çıkışı $\rightarrow$ doymuş sıvı (DS) $\rightarrow -10,1^\circ\text{C}$

} Ayırıcı $-10,1^\circ\text{C}$ 'da
çalışmaktadır ve
ıslak buhar bölgesi
kapsamında 4, 4 ve 5.
nokta sıcaklıkları sabittir.

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = -10^\circ\text{C} \\ \text{D.B.} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = h_{u,1} = 244,50 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = s_{l,1} = 0,93788 \text{ kJ/kgK} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} T_1 = -10^\circ\text{C} \\ \text{D.B.} \end{array}} \right\} \text{Tablodan}$$

* Yoğuşturucu da basınç sabittir ve 800 kPa olarak verilmiştir.

$$P_2 = P_3 = 800 \text{ kPa}$$

Kompresörler izotropik olarak değerlendirilecektir.

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 800 \text{ kPa} \\ s_2 = s_1 \end{array} \right\} \begin{array}{l} 800 \text{ kPa için } s_f = 0,35408 \text{ kJ/kgK} \\ s_g = 0,91853 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

$$s_2 = 0,93788 \text{ kJ/kgK} > s_g \rightarrow \text{kıymı buhar bölgesi}$$

$$h_2 = 273,31 \text{ kJ/kg} \left. \vphantom{h_2 = 273,31 \text{ kJ/kg}} \right\} \text{Tablodan, interpolasyon ile.}$$

* Genleşme vanası girişleri doymuş sıvı olarak değerlendirilecektir.

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 800 \text{ kPa} \\ \text{D.S.} \end{array} \right\} h_3 = h_{f,3} = 95,48 \text{ kJ/kg}$$

* Genleşme vanalarında enerji dengesi analizi yapıldığında,
giriş ve çıkışın entalpileri eşit alınabilir.

$$h_4 \approx h_3 = 95,48 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} T_5 = -10,1^\circ\text{C} \\ \text{D.S.} \end{array} \right\} h_5 = h_{f,5} = 38,41 \text{ kJ/kg}$$

$$h_6 \approx h_5 = 38,41 \text{ kJ/kg}$$

* İkinci kompresör: (Buharlaştırıcıda basınç ve sıcaklık sabittir).

$$\left. \begin{array}{l} T_7 = -40^\circ\text{C} \\ \text{DB.} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_7 = h_{g,7} = 225,86 \text{ kJ/kg} \\ s_7 = s_{g,7} = 0,96869 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

* Ağırlığı sabit basınçta çalışmaktadır. (Isı değiştiricilerde giriş ve çıkış basınçları yaklaşık olarak eşittir).

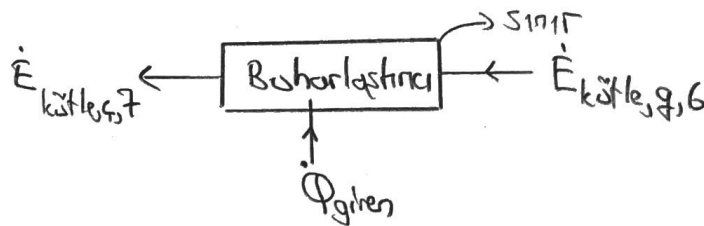
$$-10,1^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{doyma basıncı (tablodan)} \\ 199,9234 \text{ kPa (interpolasyonla)} \\ \approx 200 \text{ kPa}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_8 = P_{\text{doyma}} = 200 \text{ kPa} \\ S_8 = S_7 \end{array} \right\} 200 \text{ kPa} \rightarrow \begin{array}{l} S_f = 0,15449 \text{ kJ/kgK} \\ S_g = 0,93788 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

$$S_8 = 0,96869 \text{ kJ/kgK} \rightarrow S_8 > S_g \rightarrow \text{KB bölgesi} \\ h_8 = 252,75 \text{ kJ/kg (tablodan, interpolasyonla)}$$

* Enerji dengesi analizi:

Soğutma gücü, 30 kW olarak verilmiştir. Yani buharlaştırma ortamı soğuturken 30 kW gücünde ısı çekimi olmaktadır.



$$\dot{E}_{\text{giren}} = \dot{E}_{\text{çıkan}} \text{ (Sürekli akışlı sistemlerde)}$$

$$\dot{Q}_{\text{giren}} + \dot{E}_{\text{kütlesel},6} = \dot{E}_{\text{kütlesel},7}$$

$$\dot{Q}_{\text{giren}} + \dot{m}_6 (h_6 + ke_6 + pe_6) = \dot{m}_7 (h_7 + ke_7 + pe_7)$$

Ancak $\Delta pe \approx 0$ alınabilir.

Kütlelerin korunumu: $\dot{m}_6 = \dot{m}_7$ (bir giriş/bir çıkış için)

$$\dot{Q}_{\text{giren}} = \dot{Q}_L = \dot{m}_6 (h_7 - h_6) \text{ (W)}$$

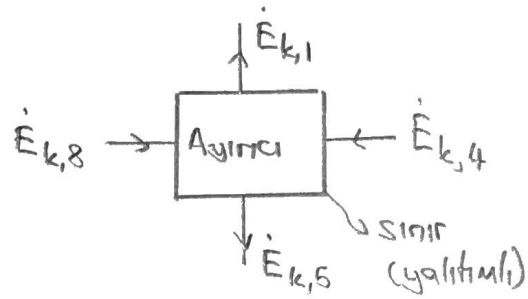
$$30 \text{ kW} = \dot{m}_6 (225,86 - 38,41) \text{ kJ/kg}$$

$$\underline{\underline{\dot{m}_6 = 0,16 \text{ kg/s}}}$$

* Ayırıcı için enerji dengesi:

$$\dot{E}_{giren} - \dot{E}_{çıkan} = \Delta \dot{E}_{sistem}$$

"0"
(sürekli akış)



$$\dot{E}_{k,4} + \dot{E}_{k,8} = \dot{E}_{k,1} + \dot{E}_{k,5} \quad (W)$$

Kütlelerin korunumu: $\dot{m}_4 + \dot{m}_8 = \dot{m}_1 + \dot{m}_5 \quad (kg/s)$

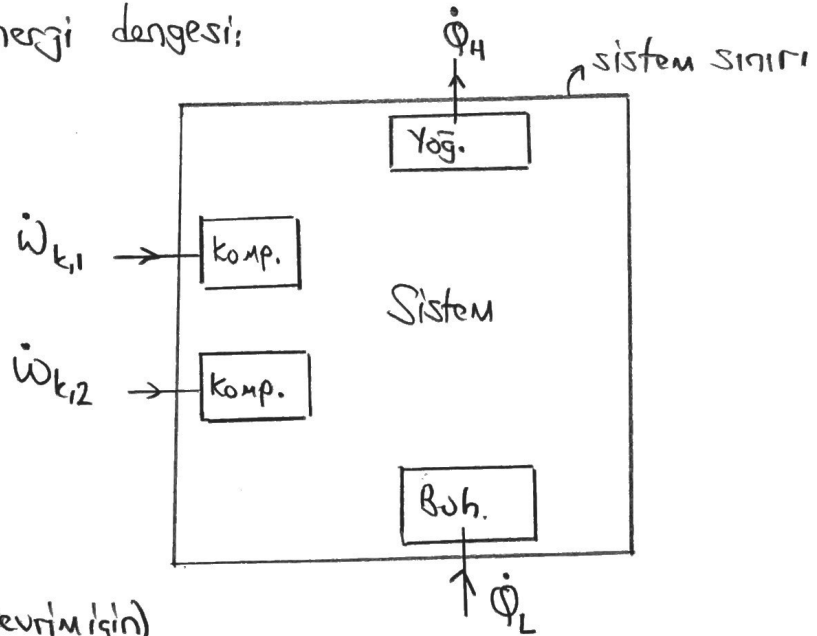
$$\left. \begin{array}{l} \dot{m}_4 = \dot{m}_1 \\ \dot{m}_5 = \dot{m}_8 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dot{m}_4 \text{ (Birinci çevrim)} \\ \dot{m}_5 = \dot{m}_6 = \dot{m}_7 = \dot{m}_8 \text{ (İkinci çevrim)} \end{array}$$

$$\dot{m}_1 (h_4 - h_1) = \dot{m}_5 (h_5 - h_8) ; \quad \dot{m}_5 = \dot{m}_6 = \dot{m}_7 = \dot{m}_8 = 0,16 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_1 (95,48 - 244,50) \text{ kJ/kg} = (0,16 \text{ kg/s}) (38,41 - 252,75) \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \underline{\underline{0,2301 \text{ kg/s}}}$$

* Tüm sistem için enerji dengesi:



$$\dot{E}_{giren} - \dot{E}_{çıkan} = \Delta \dot{E}_{sistem}$$

"0" (çevrim için)

$\dot{W}_{k,1}$
 $\dot{W}_{k,2}$
 $\dot{\Phi}_L$

$\dot{\Phi}_H$

$$\dot{W}_{k,1} + \dot{W}_{k,2} = \dot{\Phi}_H - \dot{\Phi}_L \quad (W)$$

* Yoğuşturucu için enerji dengesi:

$$\dot{E}_{giren} = \dot{E}_{çıkan}$$

$\downarrow$ $\downarrow$
 h_2 h_3 ve $\dot{Q}_H$

$$\begin{aligned}\dot{Q}_H &= \dot{m}_2 (h_2 - h_3) \quad (\text{W}) \\ &= (0,2301 \text{ kg/s}) (273,31 - 95,48) \text{ kJ/kg} \\ &= 40,92 \text{ kW}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{W}_{k,1} + \dot{W}_{k,2} &= (40,92 \text{ kW}) - (30 \text{ kW}) \\ &= \underline{\underline{10,92 \text{ kW}}}\end{aligned}$$

* $\dot{W}_{k,1} = \dot{m}_1 (h_2 - h_1)$ } Kompresör için enerji dengesi analizi
 $\dot{W}_{k,2} = \dot{m}_7 (h_8 - h_7)$ } yapılırsa. Yonda verilen eşitlikler elde edilir.

$$\begin{aligned}\dot{W}_{k,1} &= (0,2301 \text{ kg/s}) (273,31 - 244,50) \text{ kJ/kg} \\ &= 6,63 \text{ kW}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{W}_{k,2} &= (0,16 \text{ kg/s}) (252,75 - 225,86) \text{ kJ/kg} \\ &= 4,30 \text{ kW}\end{aligned}$$

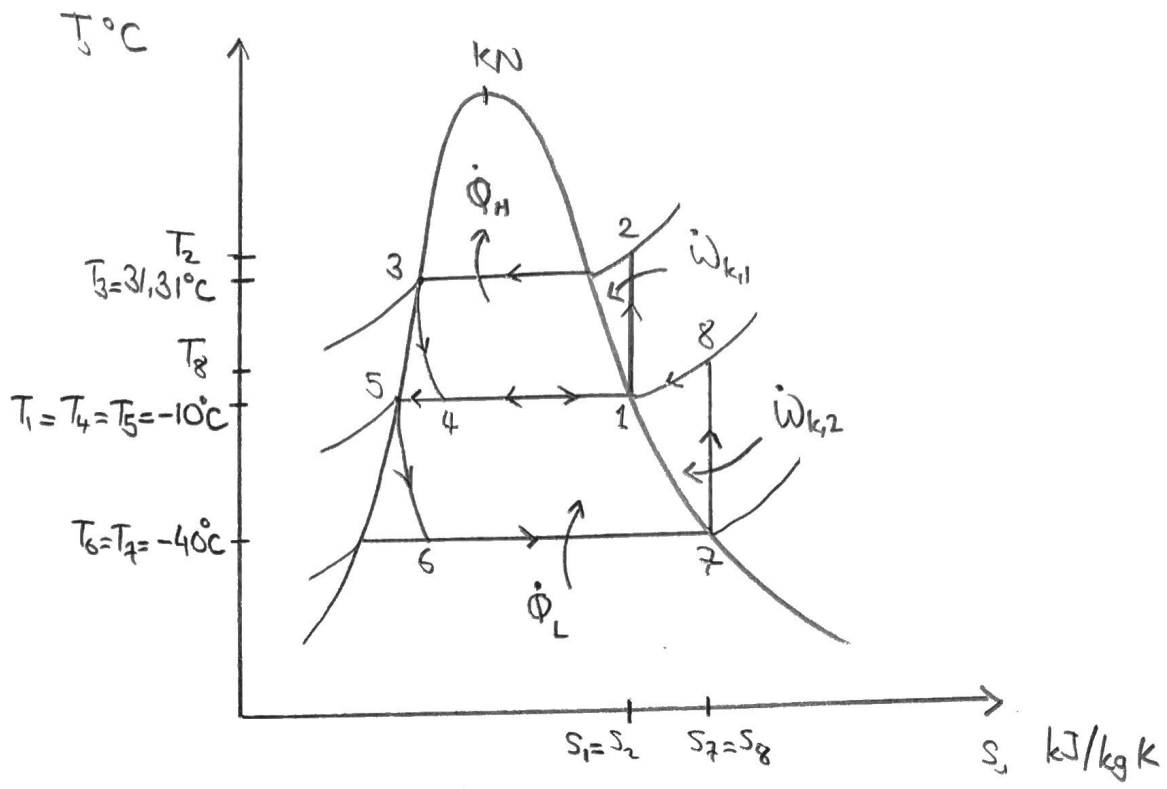
$$\begin{aligned}\dot{W}_{k,1} + \dot{W}_{k,2} &= (6,63) + (4,30) \\ &= \underline{\underline{10,93 \text{ kW}}}\end{aligned}$$

Dikkat: Kompresörler tarafından kullanılan toplam güç yukarıda verildiği gibi iki şekilde hesaplanabilir.

* Soğutma etkililik katsayısı hesabı:

$$\text{COP}_R = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{k,1} + \dot{W}_{k,2}} = \frac{30 \text{ kW}}{10,93 \text{ kW}} = \underline{\underline{2,74}}$$

T-s diyagramı:



YARARLANILAN KAYNAKLAR:

“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 yardımcıları 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 yardımcıları 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).