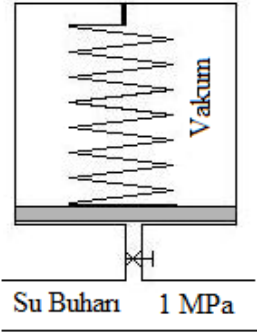


Soru 1-)Yalıtılmış bir piston-silindir düzeneğinde, başlangıçta piston silindirin tabanındadır. Bu konumdayken pistona doğrusal bir yay dokunmakta, fakat her hangi bir kuvvet uygulamamaktadır. Pistonun üst tarafında vakum var ve pistonun kütlesi ihmal edilebilir mertebededir. Silindir bir vana aracılığıyla, içinden 1 MPa basınçta su buharı akan bir boruya bağlanmıştır. Daha sonra vana açılmakta ve silindire su buharı doldurulmaktadır. Silindir içinde su buharının basıncı 1 MPa olduğunda vana kapatılmaktadır. Bu durumda silindirdeki su buharının hacmi 0.5 m³ ve sıcaklığı 400 C olmaktadır. Doldurma işlemi sırasında,



- (a) Yaya karşı yapılan işi, (b) Silindire giren su buharı kütlesini,
(c) Borudan akan su buharının sıcaklığını, (d) Entropi üretimini (toplam entropi değişimini) bulunuz.

Çözüm:

Açık sistem (kontrol hacim): Pistonun altında kalan hacim
Düzgün akışlı dengeli açık sistem

a)

$$W_{yay} = \frac{P_1 + P_2}{2} (V_2 - V_1)$$

$$P_1 = 0 \quad V_1 = 0$$

$$W_{yay} = \frac{P_2}{2} (V_2) = \frac{1000}{2} (0.5) = 250 \text{ kJ}$$

b)

$$\begin{cases} P_2 = 1 \text{ MPa} \\ T_2 = 400 \text{ C} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} u_2 = 2957.9 \text{ kJ/kg} \\ v_2 = 0.30661 \text{ m}^3 / \text{kg} \\ s_2 = 7.4670 \text{ kJ/kg.K} \end{cases}$$

$$m_2 = \frac{V_2}{v_2} = \frac{0.5}{0.30661} = 1.631 \text{ kg}$$

Kütlenin korunumu,

$$m_g = m_2 - m_1 \quad m_1 = 0 \quad m_g = m_2 = 1.631 \text{ kg}$$

c)

1. yasa,

$$Q - W = \sum m_\phi h_\phi - \sum m_g h_g + (m_2 u_2 - m_1 u_1)_{KH} \quad Q = 0 \quad m_1 = 0$$

$$-W_{yay} = -m_g h_g + m_2 u_2$$

$$h_g = \frac{m_2 u_2 + W_{yay}}{m_2} = \frac{1.631(2957.9) + 250}{1.631} = 3111.18 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Boruda akan su buharı} \begin{cases} P_g = 1 \text{ MPa} \\ h_g = 3111.18 \text{ kJ/kg} \end{cases} \rightarrow \text{Kızgın Bölge}$$

T(C)	h	s
300	3051.6	7.1246

$$T_g \quad 3111.18 \quad s_g \quad \text{interpolasyon ile} \quad \begin{cases} T_g = 327.95 \text{ C} \\ s_g = 7.2243 \text{ kJ/kg.K} \end{cases}$$

350	3158.2	7.3029
-----	--------	--------

d)

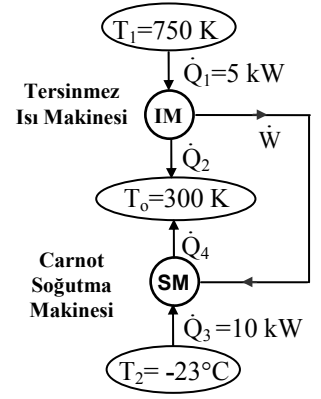
$$\Delta S_{sis} = \sum m_\phi s_\phi - \sum m_g s_g + (m_2 s_2 - m_1 s_1)$$

$$\Delta S_{sis} = -m_g s_g + m_2 s_2 = m_2 (s_2 - s_g) = 1.631(7.4670 - 7.2243) = 0.3958 \text{ kJ/kg.K}$$

$$\Delta S_{\phi ev} = \frac{Q_{\phi ev}}{T_{\phi ev}} \quad Q_{\phi ev} = 0 \rightarrow \Delta S_{\phi ev} = 0$$

$$S_{üretim} = \Delta S_{sis} + \Delta S_{\phi ev} = 0.3958 \text{ kJ/kg.K}$$

Soru 2) Tersinmez bir ısı makinesi 750 K sıcaklığındaki bir ısıl enerji deposundan birim zamanda 5 kW ısı almakta ve 300 K sıcaklığındaki çevreye ısı vermektedir. Isı makinesinin ürettiği gücün tümü bir Carnot soğutma makinesini çalıştırmak için kullanılmaktadır. Carnot soğutma makinesi -23°C sıcaklıktaki bir ortamdan birim zamanda 10 kW ısı çekmekte ve 300 K sıcaklıktaki çevreye ısı vermektedir.



- (a) Soğutma makinesinin etkinlik katsayısını (soğutma tesir katsayısını), ısı makinesinin gücünü ve ısıl verimini, her iki makineden çevre ortama birim zamanda olan toplam ısı geçişini bulunuz.
- (b) Eğer ısı makinesi tersinir bir makine olsaydı, (T_1 , T_2 , T_0 ve $\dot{Q}_1$ değerleri aynı olmak üzere) soğutma makinesi soğutulan ortamdan en fazla ne kadar ısı çekebilirdi ?

Çözüm:

- (a) Carnot (tersinir) Soğutma makinesinin etkinlik katsayısı (soğutma tesir katsayısı):

$$\text{COP}_{\text{SM,tr}} = \left(\frac{\dot{Q}_3}{\dot{W}} \right)_{\text{tr}} = \left(\frac{\dot{Q}_3}{\dot{Q}_4 - \dot{Q}_3} \right)_{\text{tr}} = \frac{T_2}{T_0 - T_2}$$

$$\text{COP}_{\text{SM,tr}} = \frac{T_2}{T_0 - T_2} = \frac{250}{300 - 250} = 5$$

$$\dot{W} = \frac{\dot{Q}_3}{\text{COP}_{\text{SM,tr}}} = \frac{10}{5} = 2 \text{ kW} \quad \Rightarrow \quad \dot{W}_{\text{IM},\phi} = \dot{W}_{\text{SM},g} = \dot{W} = 2 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{\text{SM},g} = \dot{Q}_4 - \dot{Q}_3 \quad \Rightarrow \quad \dot{Q}_4 = \dot{Q}_3 + \dot{W} = 10 + 2 = 12 \text{ kW}$$

Isı makinesinin ısıl verimi

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_1} = \frac{2}{5} = 0.4$$

$$\dot{W}_{\text{IM},\phi} = \dot{Q}_1 - \dot{Q}_2 \quad \Rightarrow \quad \dot{Q}_2 = \dot{Q}_1 - \dot{W} = 5 - 2 = 3 \text{ kW}$$

Her iki makineden çevre ortama birim zamanda olan toplam ısı geçişi

$$\dot{Q}_2 + \dot{Q}_4 = 3 + 12 = 15 \text{ kW}$$

- (b) Eğer ısı makinesi tersinir bir ısı makinesi olsa idi, ısıl verimi aşağıdaki şekilde olacaktı:

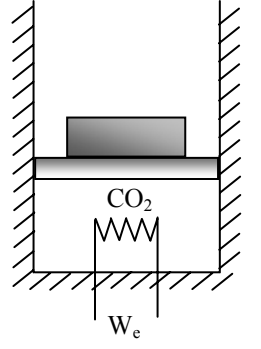
$$\eta_{\text{th,tr}} = \left(\frac{\dot{W}}{\dot{Q}_1} \right)_{\text{tr}} = 1 - \frac{T_0}{T_1} = 1 - \frac{300}{750} = 0.60$$

$$\dot{W}_{\text{tr}} = \eta_{\text{th,tr}} \dot{Q}_1 = 0.60 \times 5 = 3 \text{ kW} \quad \Rightarrow \quad \dot{W}_{\text{SM},g} = \dot{W}_{\text{IM},\phi} = \dot{W}_{\text{tr}} = 3 \text{ kW}$$

$$\text{COP}_{\text{SM,tr}} = 5 \quad (\text{a şıkkından})$$

$$\dot{Q}_{3,\text{maks}} = \text{COP}_{\text{SM,tr}} \dot{W}_{\text{tr}} = 5 \times 3 = 15 \text{ kW}$$

Soru 3-) Adyabatik bir piston silindir düzeneğinde bulunan 0.6 kg karbondioksit CO₂ gazı başlangıçta 0.2 m³ hacminde ve 300 K sıcaklıkta bulunmaktadır. Silindir içinde bulunan bir elektrikli ısıtıcı ile CO₂ 900 K sıcaklığa çıkarılmaktadır. Bu hal değişimi esnasında gaz basıncının sabit kaldığını kabul ederek, **(a)** hareketli sınır işini, elektrik işini, **(b)** sistemin entropi değişimini ve toplam entropi üretimini hesaplayınız.



(c) CO₂ gazını 900 K sıcaklığa çıkarmak için gerekli enerjinin elektrikli ısıtıcı yerine, 900 K sıcaklığında bir ısı kaynağından verilmesi durumunda toplam entropi üretimini bulunuz ve entropi üretiminin sebebini açıklayınız.

(CO₂ mükemmel gaz kabul edilebilir, özgül ısıların sabit kaldığı kabul edilecektir. R=0.1889 kJ/kgK, c_p=1.0749 kJ/kgK, c_v=0.886 kJ/kgK ve k=1.213 değerleri kullanılacaktır.)

Çözüm : Sistem : P-S içindeki 0.6 kg CO₂

İlk hal : T₁=300 K, V₁=0.2 m³

Son hali : T₂=900 kPa, P₂=P₁

12 sabit basınçta tersinmez hal değişimi

$$(a) \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \rightarrow V_2 = 0.2 \frac{900}{300} = 0.6 \text{ m}^3 \quad P_1 = \frac{mRT_1}{V_1} = \frac{0.6 \times 0.1889 \times 300}{0.2} = 170.01 \text{ kPa}$$

$$\text{Hareketli sınır işi } W_{hsi} = P(V_2 - V_1) = 170.01(0.6 - 0.2) = 68.004 \text{ kJ}$$

$$\text{Birinci yasa } mc_v(T_2 - T_1) = 0 - W = -W_{hsi} - (-W_e) \rightarrow W_e = W_{hsi} + mc_v(T_2 - T_1)$$

$$W_e = 68.004 + 0.6 \times 0.886(900 - 300) = 68.004 + 318.96 = 386.964 \text{ kJ}$$

$$(b) \text{ Sistemin entropi değişimi } \Delta S = m\Delta s = mc_p \ln \frac{T_2}{T_1} = 0.6 \times 1.0749 \ln \frac{900}{300} = 0.70854 \text{ kJ/K}$$

İkinci yasa $\Delta S = 0 + S_{\dot{U}RE,T} \rightarrow S_{\dot{U}RE,T} = 0.70854 \text{ kJ/K}$. Sistem aynı zamanda ayrı sistem olduğu için bulunan toplam entropi üretimi sistem içinde meydana gelmektedir. Sistem dışında entropi üretimi yoktur.

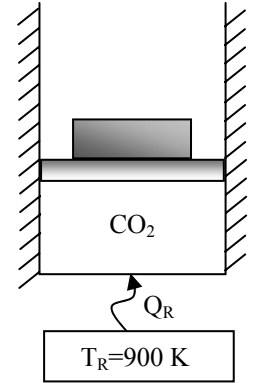
(c) İlk ve son haller aynı olduğundan son haldeki hacim, hareketli sınır işi ve sistemin entropi değişimi önceki çözümle aynıdır. Birinci yasa ise

$$mc_v(T_2 - T_1) = Q_R - W = Q_R - W_{hsi} \rightarrow Q_R = W_{hsi} + mc_v(T_2 - T_1) = 389.964 \text{ kJ}$$

Toplam entropi üretimi için ayrı sistem olarak sistem ve kaynak seçilirse ikinci yasa

$$(\Delta S)_{ayrik} = \Delta S + (\Delta S)_R = S_{\dot{U}RE,T} \rightarrow S_{\dot{U}RE,T} = 0.70854 + \frac{-389.964}{900} = 0.2786 \text{ kJ/K}$$

Enerjinin ısı kaynağından verilmesi durumunda toplam entropi üretimi sistem dışında sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi sebebiyle meydana gelmektedir.



[**Not:** Bu kısma puan verilmeyecektir.] [Birinci yasadan

$$\delta Q - PdV = mdu \rightarrow \delta Q = mdh = mc_p dT \text{ olduğu bulunur.}$$

Sistem için 2. Yasa

$$\Delta S = \int \frac{\delta Q}{T} + S_{\dot{U}RE,KK} = mc_p \int \frac{dT}{T} + S_{\dot{U}RE,KK} = mc_p \ln \frac{T_2}{T_1} + S_{\dot{U}RE,KK}$$

$$\cancel{\Delta S} = mc_p \ln \frac{T_2}{T_1} + S_{\dot{U}RE,KK} \text{ olduğundan sistem içindeki üretiminin } S_{\dot{U}RE,KK} = 0 \text{ olduğu bulunur.}$$

Yani 12 sabit basınçta içten tersinir bir hal değişimidir. Bu sebeple enerjinin ısı kaynağından verilmesi durumunda toplam entropi üretimi sistem dışında sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi sebebiyle meydana gelmektedir. Elektrikli ısıtıcı durumunda ise sisteme verilen 386.964 kJ enerji ısıya dönüştüğü için artık tamamı tekrar işe (elektrik) dönüştürülemez. Carnot ısı makinası kullanılsa bile işe dönüşebilecek miktar

$$W_C = \int \delta Q \left(1 - \frac{T_o}{T} \right) = W_e - T_o mc_p \ln \frac{T_2}{T_1}$$

Soru 4-) 0.1 kg/s debisindeki hava, sürekli akışlı bir kompresöre $P_1=100$ kPa, $T_1=290$ K'de girmekte, $P_2=500$ kPa basınca sıkıştırılmaktadır. Kompresörün izantropik verimi % 80'dir. Çıkış sıcaklığını, kompresörün çektiği gücü ve entropi üretimini **(a)** özgül ısıları sabit kabul ederek ($c_p=1.005$ kJ/kgK, $k=1.4$) **(b)** özgül ısıların sıcaklıkla değiştiğini kabul ederek hesaplayınız.

Çözüm:

Sistem: kompresör (SASA)

Giriş hali : $P_1=100$ kPa, $T_1=290$ K

Çıkış hali : $P_2=500$ kPa

$$(a) \frac{T_{2s}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 5^{0.4/1.4} \quad T_{2s} = 290 \times 5^{0.4/1.4} = 459.31 \text{ K}$$

$$\eta = \frac{T_{2s} - T_1}{T_2 - T_1} \rightarrow T_2 = 290 + \frac{459.31 - 290}{0.8} = 501.63 \text{ K}$$

Birinci yasa ($\Delta ke \cong 0$, $\Delta pe \cong 0$, $q = 0$)

$$-\dot{W} = \dot{m}c_p(T_2 - T_1) = 0.1 \times 1.005(501.63 - 290) = 21.27 \text{ kW}$$

$$\text{İkinci yasa } \dot{m}(s_2 - s_1) = 0 + \dot{S}_{URE} \rightarrow \dot{S}_{URE} = \dot{m} \left[c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \right]$$

$$R = c_p - c_v = c_p \left(1 - \frac{1}{k} \right) = 1.005[1 - (1/1.4)] = 0.287 \text{ kJ / kgK}$$

$$\dot{S}_{URE} = 0.1 \left[1.005 \ln \frac{501.63}{290} - 0.287 \ln \frac{500}{100} \right] = +0.0888 \text{ kW / K}$$

$$(b) \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{r2}}{P_{r1}} \rightarrow P_{r2} = 1.2311 \times 5 = 6.155 \rightarrow T_{2s} = 458.1 \text{ K} \rightarrow h_{2s} = 460.1 \text{ kJ / kg (Tablo A17)}$$

$$\eta = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \rightarrow h_2 = 290.16 + \frac{460.1 - 290.16}{0.8} = 502.6 \text{ K} \rightarrow T_2 \cong 500 \text{ K} \rightarrow s_2^o = 2.21952$$

$$-\dot{W} = \dot{m}(h_2 - h_1) = 0.1(502.6 - 290.16) = 21.24 \text{ kW}$$

$$T_1 = 290 \text{ K} \rightarrow s_1^o = 1.66802$$

İkinci yasadán

$$\dot{m}(s_2 - s_1) = 0 + \dot{S}_{URE} \rightarrow$$

$$\dot{S}_{URE} = \dot{m} \left[s_2^o - s_1^o - R \ln \frac{P_2}{P_1} \right] = 0.1 \left[2.21952 - 1.66802 - 0.287 \ln \frac{500}{100} \right] = 0.0896 \text{ kW / K}$$

Aradaki yüksek fark interpolasyon yapılmadığından çıkmaktadır.