

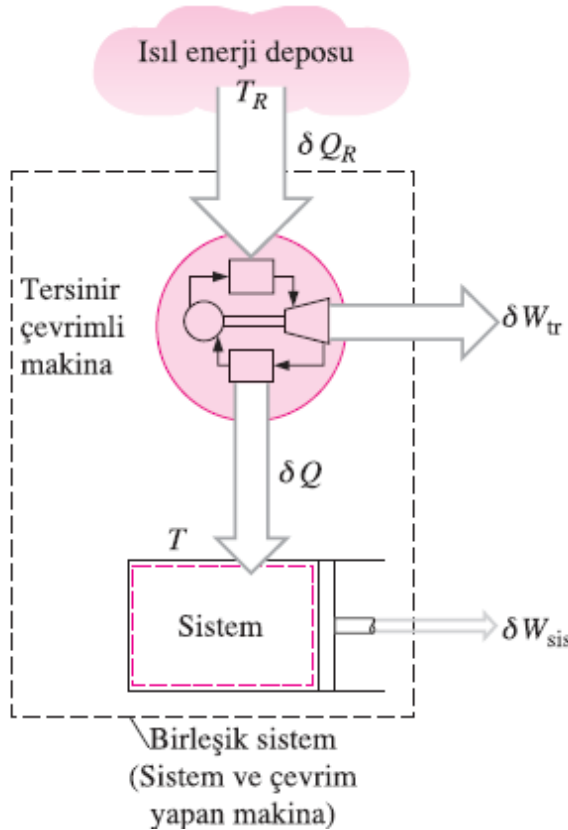
Bölüm 7

ENTROPİ

Amaçlar

- Termodinamiğin ikinci kanununu hal değişimlerine uygulamak.
- İkinci yasa verimini ölçmek için entropi olarak adlandırılan özelliği tanımlamak.
- Entropinin artış ilkesinin ne olduğunu açıklamak.
- Saf, sıkıştırılamaz maddeler ve mükemmel gazlar için söz konusu olan hal değişimleri sırasında ortaya çıkan entropi değişimlerini hesaplamak.
- İzantropik hal değişimleri olarak isimlendirilen hal değişimlerini incelemek
- Tersinir sürekli akış iş bağıntılarını elde etmek.
- Sürekli akışlı sistemler üzerinde izantropik verimlilikleri geliştirmek.
- Entropi dengesini çeşitli sistemlere tanıtmak ve uygulamak.

ENTROPİ



Sistem Clausius eşitsizliğinin geliştirilmesinde hesaba katılır.

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

$$\delta W_B = \delta Q_R - dE_B \quad \frac{\delta Q_R}{T_R} = \frac{\delta Q}{T}$$

$$\delta W_B = T_R \frac{\delta Q}{T} - dE_B$$

$$W_B = T_R \oint \frac{\delta Q}{T}$$

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

Clausius eşitsizliği

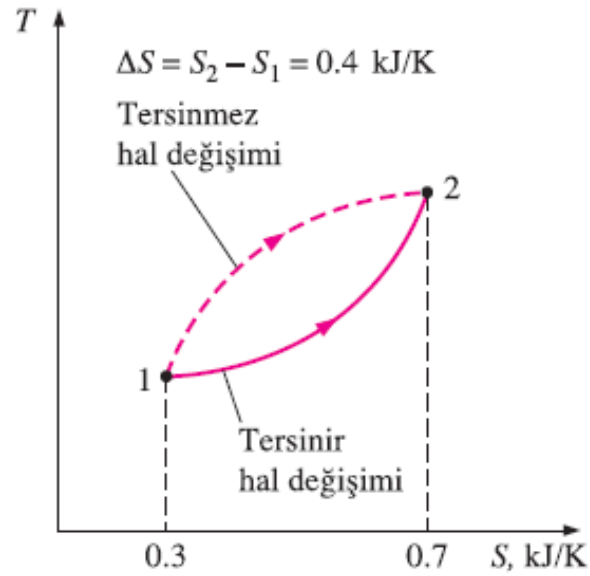
$$\oint \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{içten\ tr} = 0$$

$$dS = \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{içten\ tr} \quad (\text{kJ/K})$$

Entropinin resmi tanımı

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{içten\ tr}$$

Clausius eşitsizliğindeki eşit olma durumu tümten veya içten tersinir çevrimler için, eşitsizlik durumu da tersinmez çevrimler için geçerlidir.

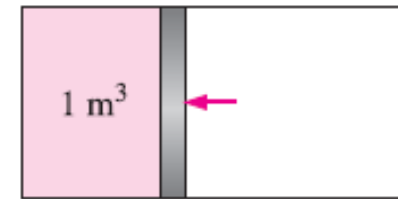
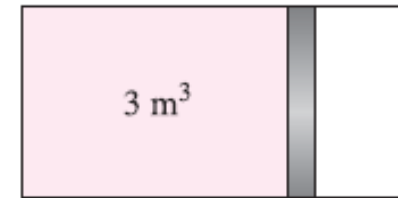
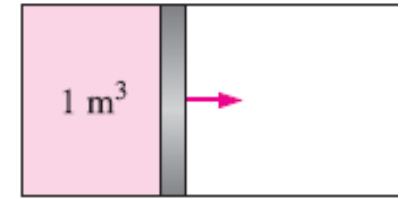


Entropi değişimi belirli iki durum arasında hal değişimi tersinir yada tersinmez olsun aynıdır.

$$\oint \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{içten\ tr} = 0$$

Entropi sistemin yaygın bir özeliğidir.

Hacmin (bir özeliğin) çevrim sırasındaki net değişimi daima sıfırdır



$$\oint dV = \Delta V_{\text{çevrim}} = 0$$

Çevrim üzerinde integrali sıfır olan bir büyüklük yer vardır (hacim gibi bir özellik)

Özel Bir Durum: İzotermal İçten Tersinir Isı Geçişi için Hal Değişimleri

$$\Delta S = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{içten\ tr} = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T_0} \right)_{içten\ tr} = \frac{1}{T_0} \int_1^2 (\delta Q)_{içten\ tr} \quad \Delta S = \frac{Q}{T_0}$$

Bu eşitlik özellikle ısı enerji depolarının entropi değişimlerini belirlemek için yararlıdır.

ENTROPİNİN ARTIŞI İLKESİ



Bir çevrim tersinir yada tersinmez bir hal değişiminden ibarettir.

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

$$\int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_1 - S_2 \leq 0$$

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T}$$

$$\int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + \int_2^1 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{içten\ tr} \leq 0$$

$$S_2 - S_1 \geq \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

Eşitlik içten tersinir hal değişimleri, eşitsizlik ise tersinmez hal değişimleri için geçerlidir.

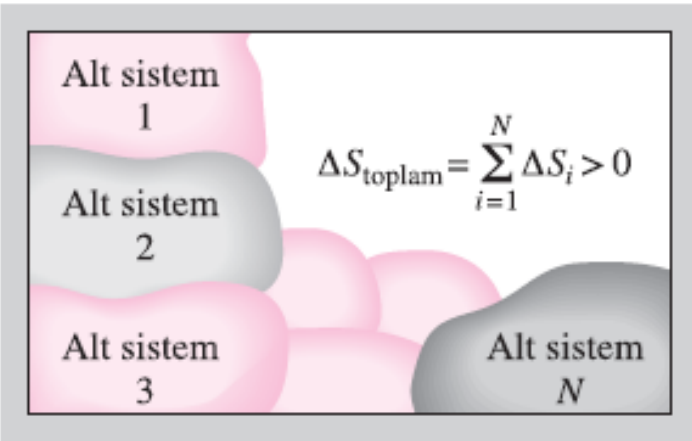
$$\Delta S_{\text{sis}} = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_{\text{üretim}}$$

$$S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{toplam}} - \Delta S_{\text{sis}} + \Delta S_{\text{çevre}} \geq 0$$

Tersinmez bir hal değişimi sırasında bir miktar entropi üretilir veya var edilir, entropi üretimi tümüyle tersinmezlikler ile ilgilidir.

Entropi üretimi $S_{\text{üretim}}$ ifadesi her zaman sıfır veya pozitif bir değerdir.
Bir sistemin entropisi bir hal değişimi sırasında azalabilir mi?

(Ayrık)



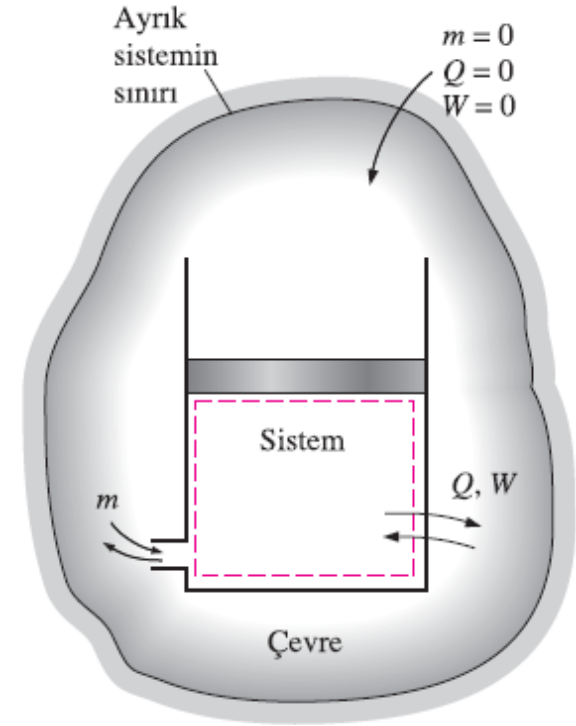
Ayrık bir sistemin entropi değişimi onun bileşenlerinin entropi değişimlerinin toplamıdır ve asla sıfırdan daha az olamaz.

$$\Delta S_{\text{ayrık}} \geq 0$$

$$S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{toplām}} - \Delta S_{\text{sis}} + \Delta S_{\text{çevre}} \geq 0$$

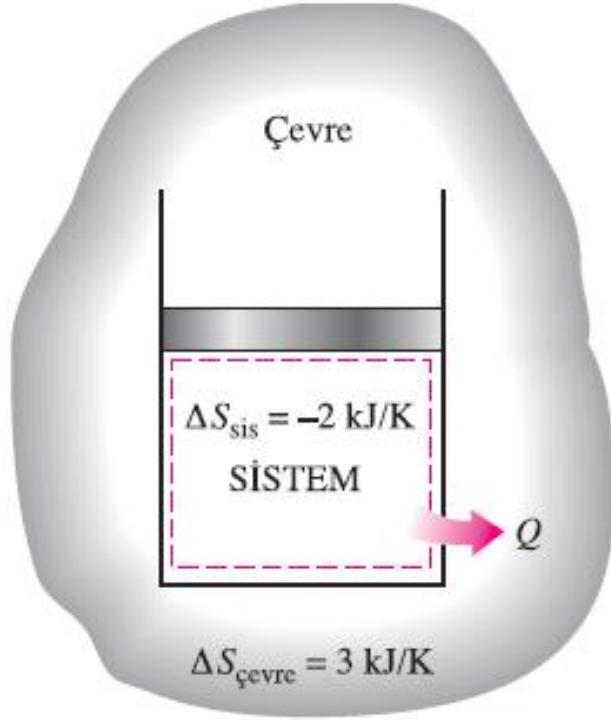
$$S_{\text{üretim}} \begin{cases} > 0 & \text{Tersinmez hal değişimi} \\ = 0 & \text{Tersinir hal değişimi} \\ < 0 & \text{Gerçekleşmesi olanaksız hal değişimi} \end{cases}$$

Entropinin artışı ilkesi



Bir sistem ve onun çevresindekiler ayrık bir sistemi oluşturur.

Entropi Üzerine Bazı Yorumlar



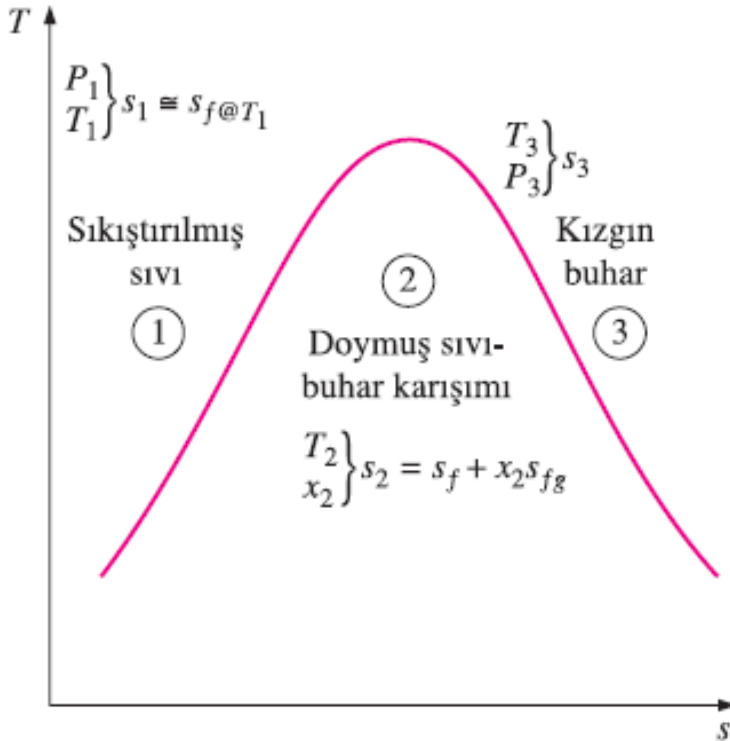
$$S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{sis}} + \Delta S_{\text{çevre}} = 1 \text{ kJ/K}$$

Bir sistemin entropi değişimi negatif olabilir ama entropi üretimi negatif olamaz.

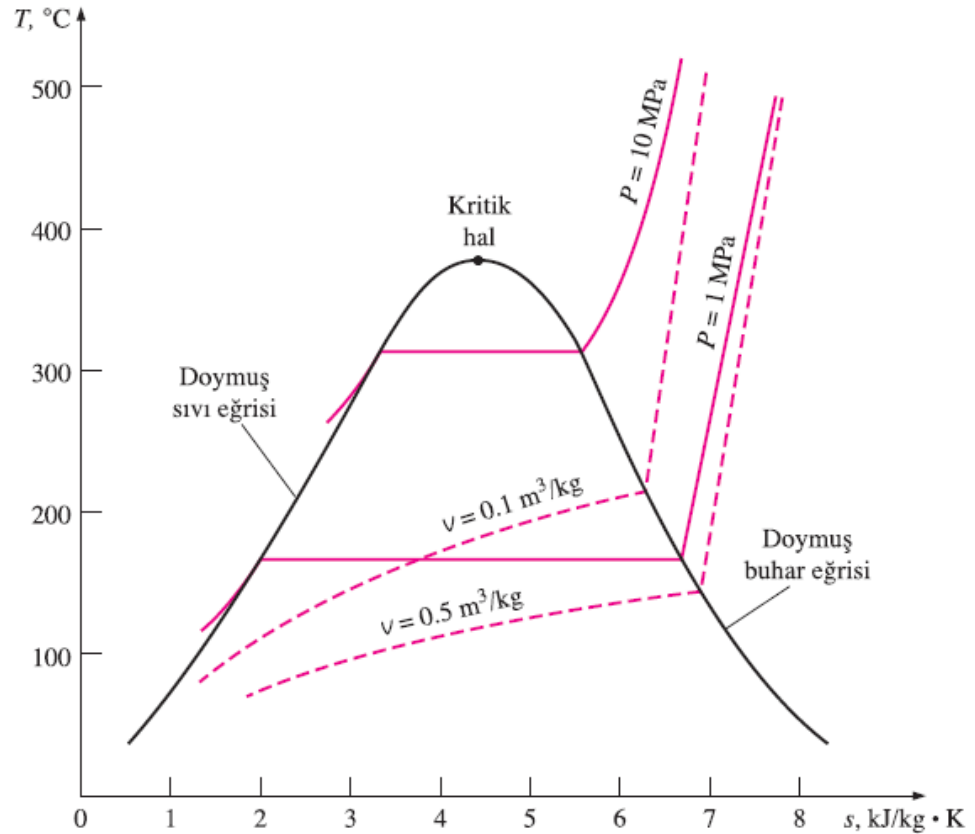
1. Hal değişimleri *herhangi* bir yönde değil, sadece *belirli* bir yönde gerçekleşebilir. Hal değişimi, entropinin artışı ilkesi ile uyumlu yönde ilerlemek zorundadır. Yani hal değişimi sırasında $S_{\text{üretim}} \geq 0$ olmalıdır. Bu ilkeyi sağlamayan bir hal değişimi gerçekleşemez.
2. Entropi *korunumu* söz konusu değildir, bu nedenle *entropinin korunumu ilkesi* diye bir kavram yoktur. Entropi, sadece ideal bir durum olan tersinir hal değişimleri sırasında korunur ve gerçek bütün hal değişimleri sırasında artar.
3. Tersinmezliklerin varlığı mühendislik sistemlerinin verimlerini azaltır ve *entropi üretimi* hal değişimi sırasında görülen tersinmezliklerin bir ölçüsüdür. Aynı zamanda, mühendislik sistemlerinin verimlerini saptamak için bir kriter olarak da kullanılır.

SAF MADDELERİN ENTROPİ DEĞİŞİMİ

Entropi bir özelliktir ve bu nedenle bir sistemin entropisinin değeri, sistemin durumu sabit olduğunda sabittir.



Saf maddelerin entropileri tablolardan belirlenir (diğer özellikleri gibi).



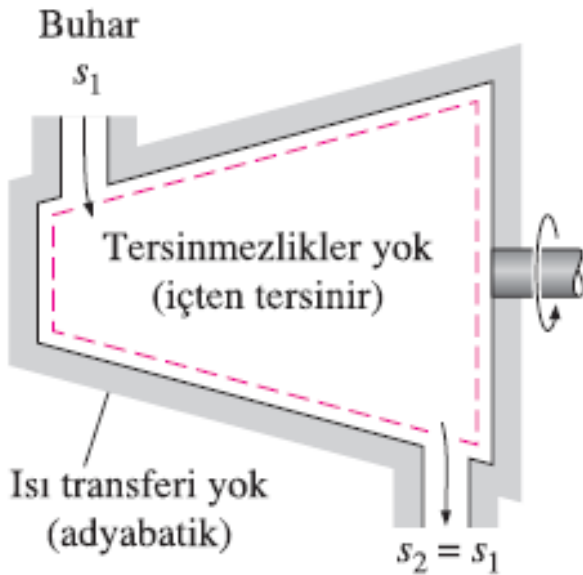
Su için T-s diyagramının şekli

Entropi değişimi

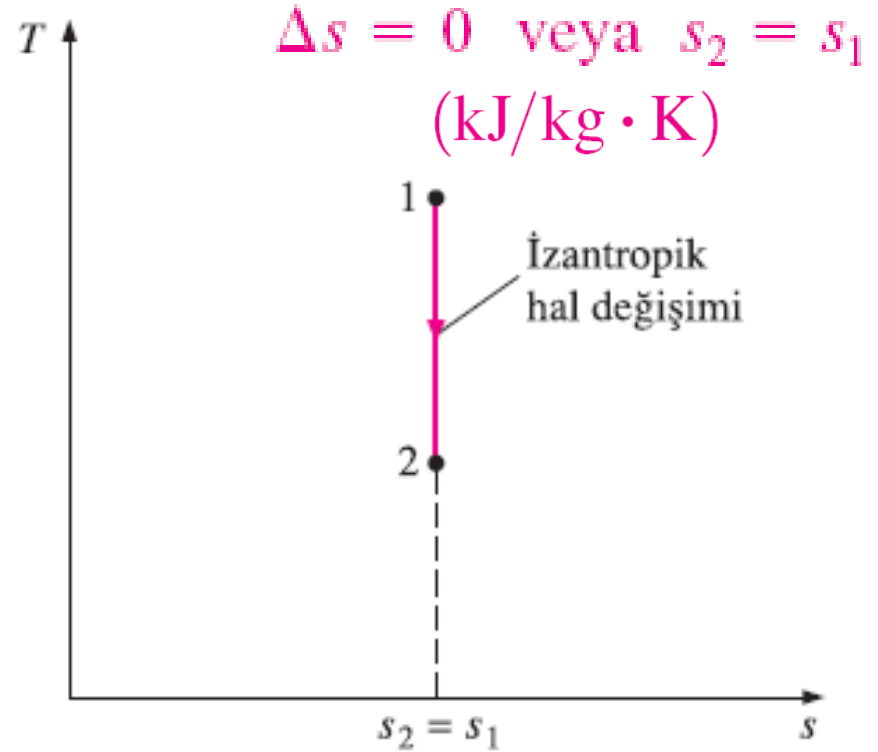
$$\Delta S = m \Delta s = m(s_2 - s_1) \quad (\text{kJ/K})$$

İZANTROPİK HAL DEĞİŞİMLERİ

Bir hal değişimi sırasında entropi sabit kalıyorsa, bu hal değişimine **izantropik hal değişimi** olarak isim verilir.

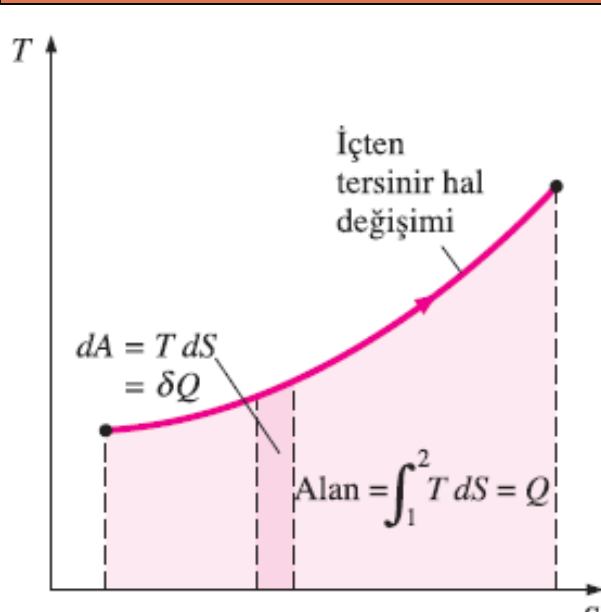


İçten tersinir ve adyabatik (izantropik) bir hal değişimi sırasında entropi sabit kalır.

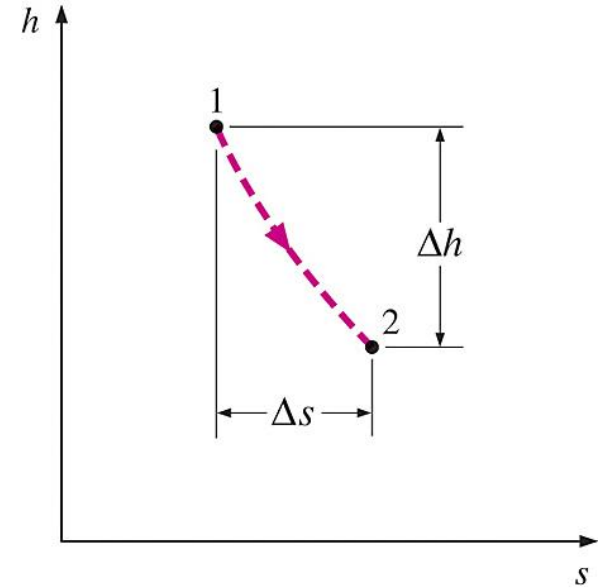


T-s diyagramında izantropik hal değişimi dikey bir doğru gibi görünür.

ENTROPİ İÇEREN ÖZELİK DİYAGRAMLARI



T-S diyagramında hal değişimi eğrisi altında kalan alan içten tersinir hal değişimleri için ısı geçişini gösterir.



Mollier diyagramı: h - s diyagramı

Sürekli akışlı adyabatik sistemler için, h - s diyagramında dikey uzunluk Δh için bir ölçüsüdür ve yatay uzunluk Δs tersinmezliklerin bir ölçüsüdür.

$$\delta Q_{\text{içten tr}} = T dS$$

$$Q_{\text{içten tr}} = \int_1^2 T dS$$

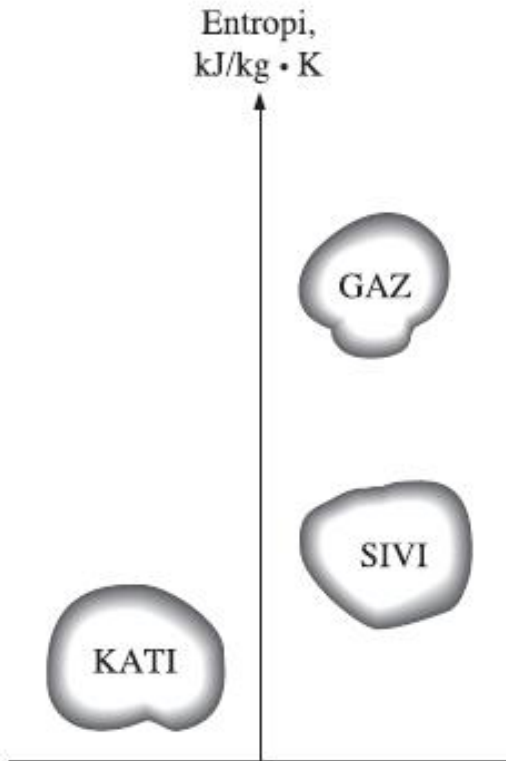
$$\delta q_{\text{içten tr}} = T ds$$

$$q_{\text{içten tr}} = \int_1^2 T ds$$

$$Q_{\text{içten tr}} = T_0 \Delta S$$

$$q_{\text{içten tr}} = T_0 \Delta S$$

ENTROPİ NEDİR?

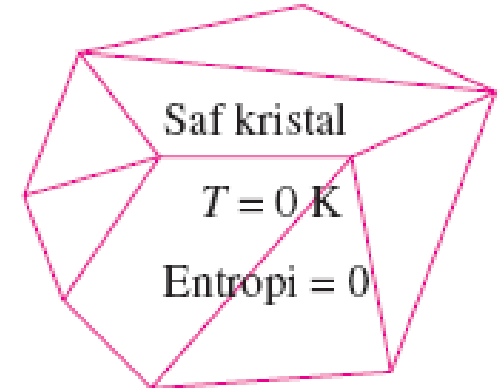


Bir maddenin moleküler düzensizliğinin (entropi) seviyesi o erirken yada buharlaşırken artar.

Boltzmann
bağıntısı

$$S = k \ln p$$

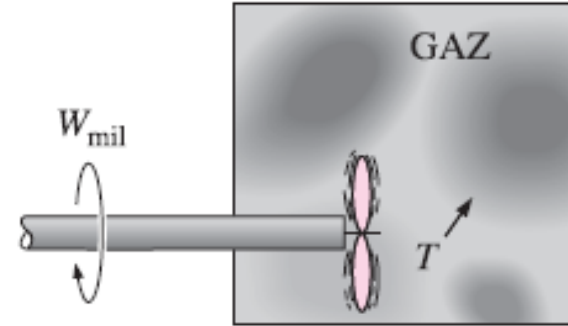
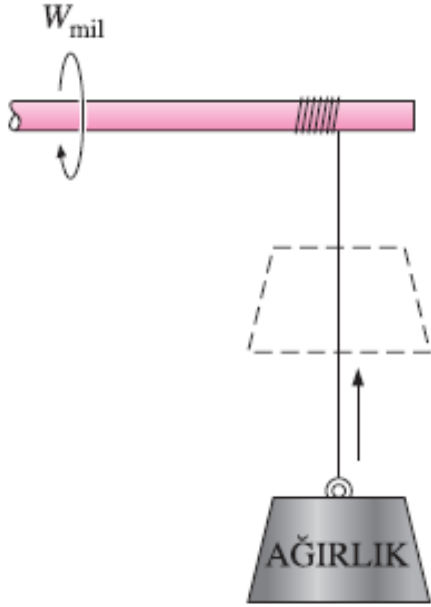
$$k = 1.3806 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$



Sıfır mutlak sıcaklıkta saf kristal madde mükemmel düzendedir ve entropisi sıfırdır.
(termodinamiğin üçüncü yasası)

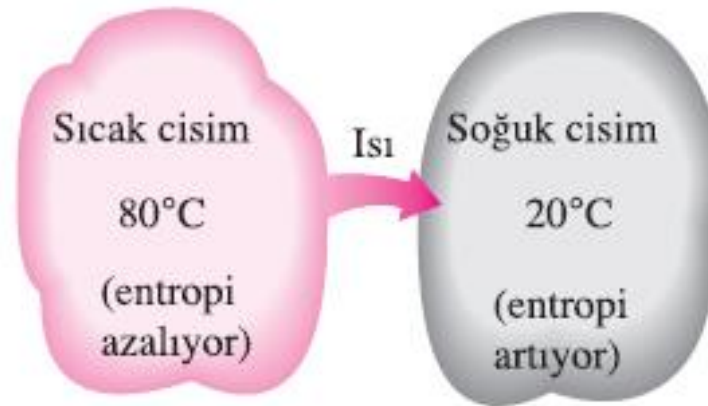


Düzensiz enerji ne kadar büyük olursa olsun, çok yararlı bir etki yaratamaz.



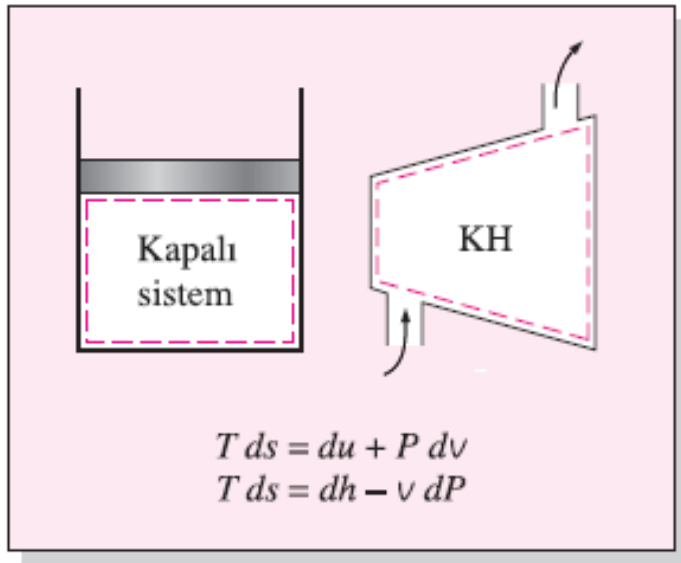
Bir gazda yapılan dönen pervane işi gazın düzensizlik seviyesini (entropi) artırır, ve böylece enerji bu hal değişimi sırasında azalır.

Sürtünmenin yokluğunda dönen bir mil tarafından bir ağırlığın kaldırılması herhangi bir düzensizlik (entropi) yaratmaz, ve böylece enerji bu hal değişimi sırasında azalmaz.



Isı transferi sırasında net entropi artar.(soğuk yüzeyin entropi artışı sıcak yüzeyin entropi azalmasından daha fazladır.)

T ds BAĞINTILARI



T ds bağıntıları hem tersinir hemde tersinmez işlemler için ve hem kapalı hemde açık sistemler için geçerlidir.

$$\delta Q_{\text{içten tr}} - \delta W_{\text{içten tr, ç}} = dU$$

$$\delta Q_{\text{içten tr}} = T dS$$

$$\delta W_{\text{içten tr, ç}} = P dV$$

$$T dS = dU + P dV \quad (\text{kJ})$$

$$T ds = du + P dv \quad (\text{kJ/kg})$$

birinci *T ds* denklemi veya *Gibbs* denklemi

$$h = u + Pv$$

$$\left. \begin{aligned} dh &= du + P dv + v dP \\ T ds &= du + P dv \end{aligned} \right\} T ds = dh - v dP$$

İkinci *T ds* denklemi

$$ds = \frac{du}{T} + \frac{P dv}{T}$$

$$ds = \frac{dh}{T} - \frac{v dP}{T}$$

Diğer özellik terimlerinde entropideki diferansiyel değişimler

SIVI VE KATILARIN ENTROPİ DEĞİŞİMİ

$$ds = \frac{du}{T} + \frac{P dv}{T}$$

sıvı ve katılar için $dv \cong 0$ olduğundan

$$ds = \frac{du}{T} = \frac{c dT}{T}$$

$$c_p = c_v = c \text{ ve } du = c dT$$

$$\text{Sıvılar, katılar:} \quad s_2 - s_1 = \int_1^2 c(T) \frac{dT}{T} \cong c_{\text{ort}} \ln \frac{T_2}{T_1}$$

Sıvı ve katıları yaklaşık olarak *sıkıştırılmaz madde* kabul edilebilirler. Çünkü sıvı ve katıların özgül hacimleri, bir hal değişimi sırasında neredeyse sabit kalmaktadır.

Sıkıştırılmaz bir maddenin izantropik hal değişimi için

$$\text{İzantropik:} \quad s_2 - s_1 = c_{\text{ort}} \ln \frac{T_2}{T_1} = 0 \quad \rightarrow \quad T_2 = T_1$$

MÜKEMMEL GAZLARIN ENTROPİ DEĞİŞİMİ

Birinci $T ds$ bağıntısından

$$ds = \frac{du}{T} + \frac{P dv}{T} \quad \begin{aligned} du &= c_v dT \\ P &= RT/v \end{aligned}$$

$$ds = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{dv}{v}$$

$$s_2 - s_1 = \int_1^2 c_v(T) \frac{dT}{T} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

İkinci $T ds$ bağıntısından

$$ds = \frac{dh}{T} - \frac{v dP}{T}$$

$$dh = c_p dT \quad v = RT/P$$

$$s_2 - s_1 = \int_1^2 c_p(T) \frac{dT}{T} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

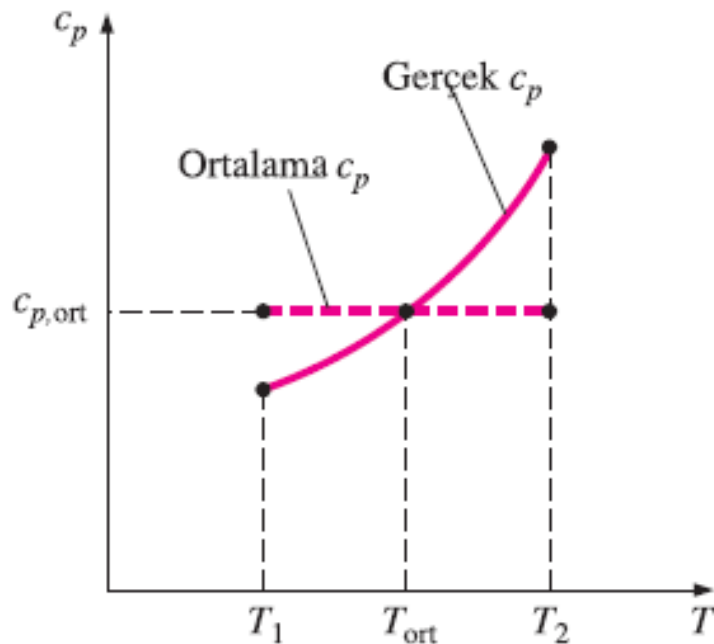
$$\begin{aligned} Pv &= RT \\ du &= C_v dT \\ dh &= C_p dT \end{aligned}$$

İG kanalından
bir yayın

Sabit Özgül Isılar (Yaklaşık Çözüm)

$$s_2 - s_1 = \int_1^2 c_v(T) \frac{dT}{T} + R \ln \frac{v_2}{v_1} \rightarrow s_2 - s_1 = c_{v, \text{ort}} \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$s_2 - s_1 = \int_1^2 c_p(T) \frac{dT}{T} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \rightarrow s_2 - s_1 = c_{p, \text{ort}} \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$



İdeal gazın birim molu için entropi değişimleri

$$\bar{s}_2 - \bar{s}_1 = \bar{c}_{v, \text{ort}} \ln \frac{T_2}{T_1} + R_u \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$\bar{s}_2 - \bar{s}_1 = \bar{c}_{p, \text{ort}} \ln \frac{T_2}{T_1} - R_u \ln \frac{P_2}{P_1}$$

Sabit özgül ısılar varsayımı altında, özgül ısıların bazı ortalama değerlerde sabit olduğu varsayılır.

Değişken Özgül Isılar (Tam Çözüm)

Mutlak sıfır sıcaklığı referans noktası olarak seçeriz ve s° fonksiyonu tanımlarız :

$$s^\circ = \int_0^T c_p(T) \frac{dT}{T}$$

$$\int_1^2 c_p(T) \frac{dT}{T} = s_2^\circ - s_1^\circ$$

Birim kütle temelinde

$$s_2 - s_1 = s_2^\circ - s_1^\circ - R \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (\text{kJ/kg} \cdot \text{K})$$

Birim mol temelinde

$$\bar{s}_2 - \bar{s}_1 = \bar{s}_2^\circ - \bar{s}_1^\circ - R_u \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (\text{kJ/kmol} \cdot \text{K})$$

T, K	$s^\circ, \text{kJ/kg} \cdot \text{K}$
...	...
...	...
...	...
300	1.70203
310	1.73498
320	1.76690
...	...
...	...
...	...

(Table A-17)

İdeal bir gazın entropisi hem T hemde P 'ye bağlıdır. Fonksiyon s° entropinin yalnızca sıcaklıkla değişimine bağlıdır.

Mükemmel Gazların İzantropik Hal Değişimleri

Sabit Özgül Isılar (Yaklaşık Çözüm)

$$s_2 - s_1 = c_{v, \text{ort}} \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

denklemini sıfıra eşitleyerek, elde ederiz

$$\ln \frac{T_2}{T_1} = -\frac{R}{c_v} \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$\ln \frac{T_2}{T_1} = \ln \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{R/c_v}$$

$$R = c_p - c_v, k = c_p/c_v$$

$$R/c_v = k - 1$$

$$\left(\frac{T_2}{T_1} \right)_{s=\text{sabit}} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}$$

$$\left(\frac{T_2}{T_1} \right)_{s=\text{sabit}} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} \quad \left(\frac{P_2}{P_1} \right)_{s=\text{sabit}} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k$$

$$\left(\frac{T_2}{T_1} \right)_{s=\text{sabit}} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}$$

*Mükemmel gaz
*İzantropik hal değişimi
*Sabit özgül ısılar

İÇİN
GEÇERLİDİR

İdeal gazın izantropik bağıntıları
yalnızca ideal gazların hal değişimleri
için geçerlidir.

$$TV^{k-1} = \text{constant}$$

$$TP^{(1-k)/k} = \text{constant}$$

$$PV^k = \text{constant}$$

Mükemmel Gazların İzantropik Hal Değişimleri

Değişken Özgül Isılar (Tam Çözüm)

$$0 = s_2^\circ - s_1^\circ - R \ln \frac{P_2}{P_1} \longrightarrow s_2^\circ = s_1^\circ + R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

Bağıl Basınç ve Bağıl Özgül Hacim

$$\frac{P_2}{P_1} = \exp \frac{s_2^\circ - s_1^\circ}{R}$$

$\exp(s^\circ/R)$
bağıl basınç
 P_r 'dir.

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\exp(s_2^\circ/R)}{\exp(s_1^\circ/R)}$$

$$\left(\frac{P_2}{P_1} \right)_{s=\text{const.}} = \frac{P_{r2}}{P_{r1}}$$

$$\frac{P_1 v_1}{T_1} = \frac{P_2 v_2}{T_2} \longrightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1} \frac{P_1}{P_2} = \frac{T_2}{T_1} \frac{P_{r1}}{P_{r2}} = \frac{T_2/P_{r2}}{T_1/P_{r1}}$$

$$\left(\frac{v_2}{v_1} \right)_{s=\text{sabit}} = \frac{v_{r2}}{v_{r1}}$$

T/P_r Bağıl Özgül Hacim v_r 'dir.

P_r verisinin
izantropik bir hal
değişimi sırasında
son sıcaklığın
hesaplanması için
kullanılması

v_r verisinin
izantropik bir hal
değişimi
sırasında son
sıcaklığın
hesaplanması
için kullanılması

Hal değişimi: izantropik

Verilenler: P_1, T_1 ve P_2

Bulunan: T_2

T	P_r
T_1	P_{r1}
T_2	$P_{r2} = \frac{P_2}{P_1} P_{r1}$

Hal değişimi: izantropik

Verilenler: v_1, T_1 ve v_2

Bulunan: T_2

T	v_r
T_1	v_{r1}
T_2	$v_{r2} = \frac{v_2}{v_1} v_{r1}$

TERSİNİR SÜREKLİ AKIŞ İŞİ

$$\delta q_{tr} - \delta w_{tr} = dh + dke + dpe$$

$$\left. \begin{array}{l} \delta q_{tr} = T ds \quad (\text{Denk 7-16}) \\ T ds = dh - v dP \quad (\text{Denk 7-24}) \end{array} \right\} \delta q_{tr} = dh - v dP$$

$$-\delta w_{rev} = v dP + dke + dpe$$

$$w_{tr} = - \int_1^2 v dP - \Delta ke - \Delta pe$$

$$w_{tr} = - \int_1^2 v dP$$

Kinetik ve potansiyel enerjiler önemsiz olduğunda

$$w_{tr, g} = \int_1^2 v dP + \Delta ke + \Delta pe$$

$$w_{tr} = -v(P_2 - P_1) - \Delta ke - \Delta pe$$

Bir sıvının bir borudaki sürekli akışı gibi, iş etkileşiminin olmadığı bir sistemde, iş terimi sıfırdır (**Bernoulli eşitliği**):

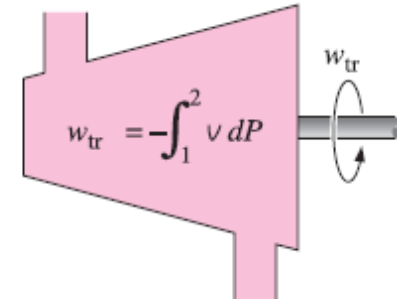
$$v(P_2 - P_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) = 0$$

$$w = - \int_1^2 v dP$$

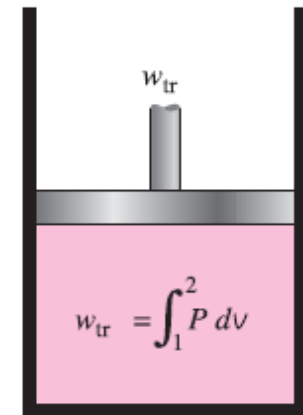
$$W = - \int_1^2 V dP$$

$$W = - \int_1^2 V dP$$

Daha geniş özgül hacim, sürekli akışlı bir sistem tarafından daha büyük iş üretir (yada tüketir).



(a) Sürekli akışlı sistem



(b) Kapalı sistem

Sürekli akışlı ve kapalı sistemler için tersinir iş bağıntısı

Sürekli Akışlı Düzeneklerde En Uygun İş Etkileşiminin Tersinir Bir Hal Değişimi Sırasında Gerçekleştiğinin Kanıtlanması

Isı girişi ve iş çıkışı pozitif alındığında:

Gerçek: $\delta q_{\text{gerçek}} - \delta w_{\text{gerçek}} = dh + dke + dpe$

Tersinir: $\delta q_{\text{tr}} - \delta w_{\text{tr}} = dh + dke + dpe$

$$\delta q_{\text{gerçek}} - \delta w_{\text{gerçek}} = \delta q_{\text{tr}} - \delta w_{\text{tr}}$$

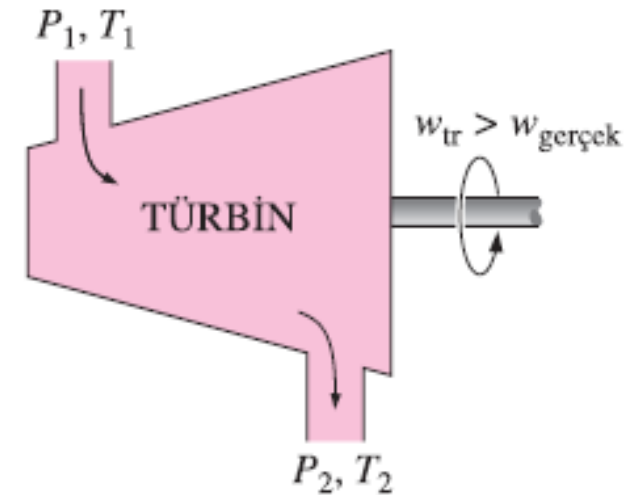
$$\delta w_{\text{tr}} - \delta w_{\text{gerçek}} = \delta q_{\text{tr}} - \delta q_{\text{gerçek}}$$

$$\delta q_{\text{tr}} = T ds$$

$$\frac{\delta w_{\text{tr}} - \delta w_{\text{gerçek}}}{T} = ds - \frac{\delta q_{\text{gerçek}}}{T} \geq 0 \quad ds \geq \frac{\delta q_{\text{gerçek}}}{T}$$

$$\delta w_{\text{tr}} \geq \delta w_{\text{gerçek}}$$

Böylece, türbin gibi iş yapan makinalarda hal değişimleri tersinir olduğu zaman daha çok iş yapılır, pompa veya kompresör gibi iş gerektiren makinalarda hal değişimleri tersinir olduğu zaman daha az iş gerekir.



Tersinir bir türbin, tersinmez olandan her ikisinde aynı son durum arasındalarsa daha fazla iş verir.

KOMPRESÖR İŞİNİN EN AZA İNDİRİLMESİ

$$w_{tr, g} = \int_1^2 v dP$$

Kinetik ve potansiyel enerjiler önemsiz olduğunda

İzantropik ($Pv^k = \text{sabit}$):

$$w_{komp, g} = \frac{kR(T_2 - T_1)}{k - 1} = \frac{kRT_1}{k - 1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right]$$

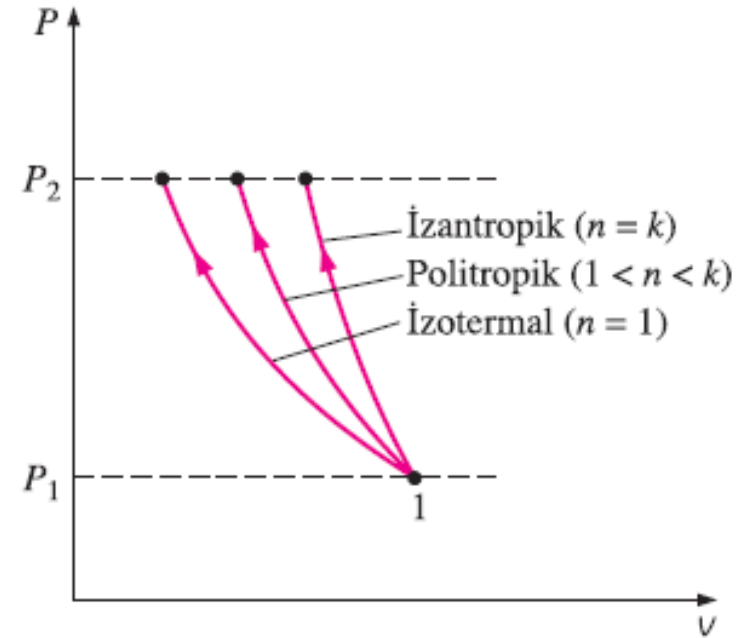
Politropik ($Pv^n = \text{sabit}$):

$$w_{komp, g} = \frac{nR(T_2 - T_1)}{n - 1} = \frac{nRT_1}{n - 1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right]$$

İzotermal ($Pv = \text{sabit}$):

$$w_{komp, g} = RT \ln \frac{P_2}{P_1}$$

Adyabatik sıkıştırma ($Pv^k = \text{sabit}$) en fazla işi gerektirir ve izotermal sıkıştırma ($T = \text{sabit}$) ise en azı gerektirir. **Neden?**

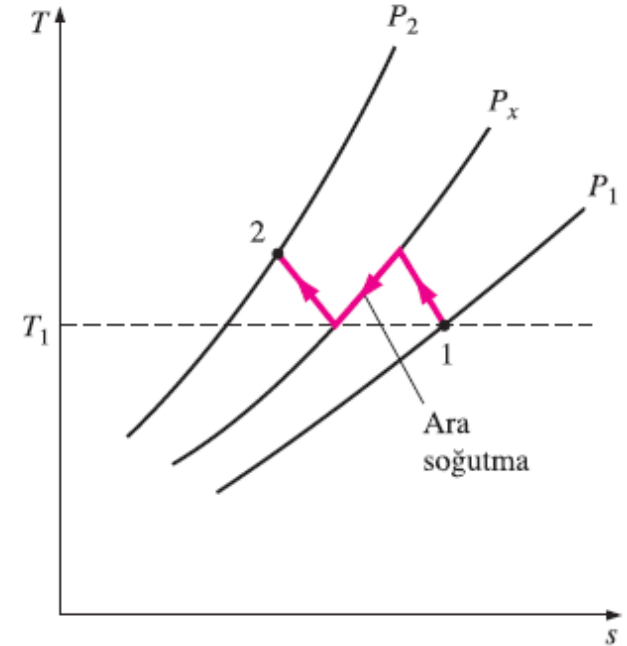
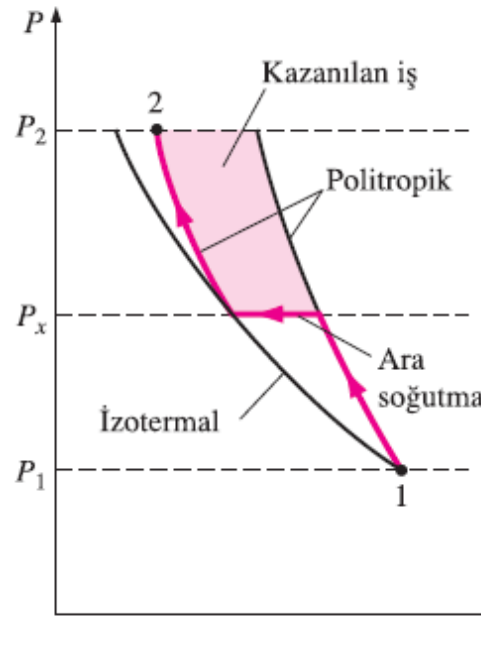


Aynı basınç limitleri arasında İzantropik, politropik ve izotermal kompresyon işinin P-v diyagramı

Ara Soğutmalı Kademeli Sıkıştırma

Gaz birkaç kademede sıkıştırılır ve kademelerin arasında *ara soğutucu* adı verilen bir ısı değiştiricisinden geçirilerek soğutulur.

İki kademeli sürekli akışlı bir kompresyon için P - v ve T - s diyagramları.



$$W_{\text{komp. g}} = W_{\text{komp. I, g}} + W_{\text{komp. II, g}}$$

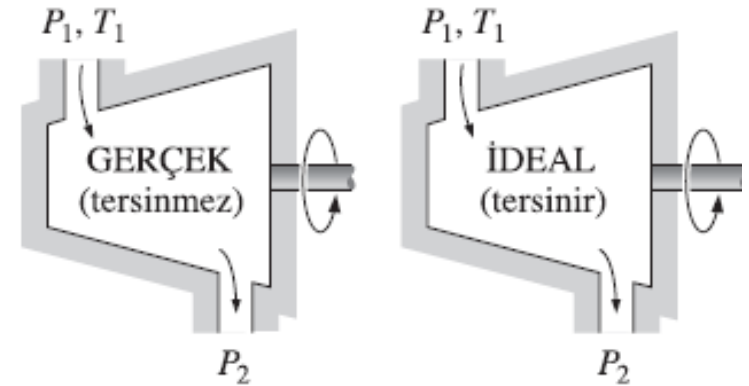
$$= \frac{nRT_1}{n-1} \left[\left(\frac{P_x}{P_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right] + \frac{nRT_1}{n-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_x} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right]$$

$$P_x = (P_1 P_2)^{1/2} \text{ veya } \frac{P_x}{P_1} = \frac{P_2}{P_x}$$

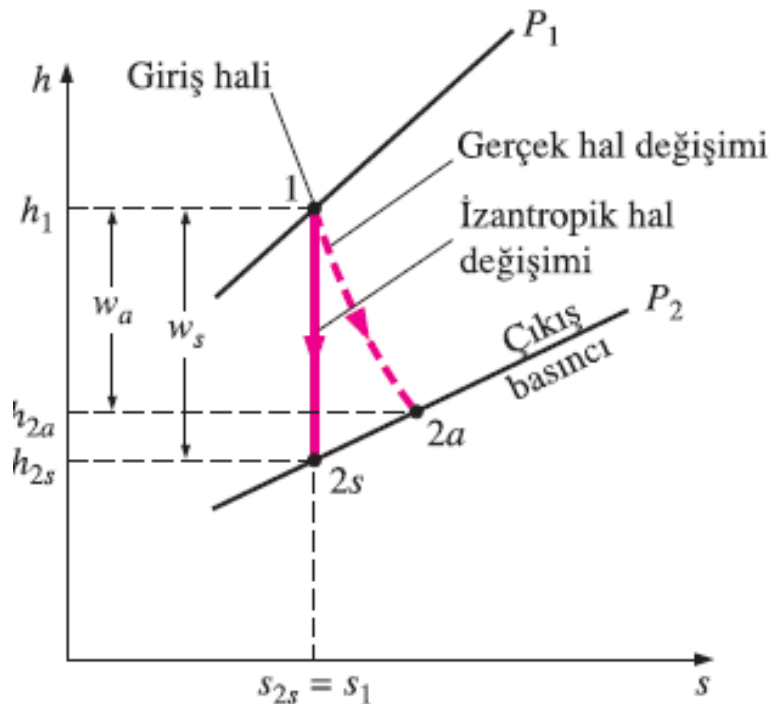
İki kademeli kompresyon sırasında en az iş için, her iki kademelin basınç oranlarının eşit olması gerekmektedir.

SÜREKLİ AKIŞLI DÜZENEKLERİN İZANTROPİK VERİMLERİ

İzantropik işlemler tersinmezlik gerektirmez ve **adyabatik düzenekler** için ideal model vazifesini görürler.



Türbinin izantropik verimi



$$\eta_T = \frac{\text{Gerçek türbin işi}}{\text{İzantropik türbin işi}} = \frac{w_a}{w_s}$$

$$\eta_T \cong \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}}$$

Adyabatik bir türbinin izantropik ve gerçek hal değişimi için h - s diyagramı.

Kompresörler ve Pompaların İzantropik Verimleri

$$\eta_K = \frac{\text{İzantropik kompresör işi}}{\text{Gerçek kompresör işi}} = \frac{w_s}{w_a}$$

$$\eta_K \equiv \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1}$$

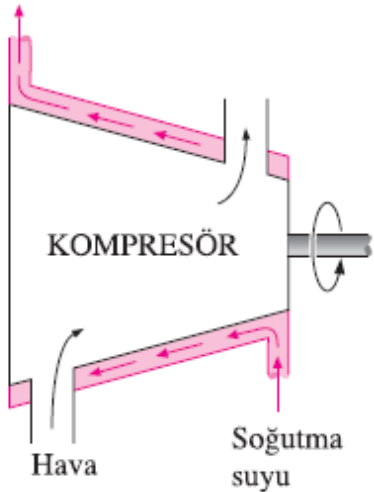
Kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal ise;

$$\eta_P = \frac{w_s}{w_a} = \frac{v(P_2 - P_1)}{h_{2a} - h_1}$$

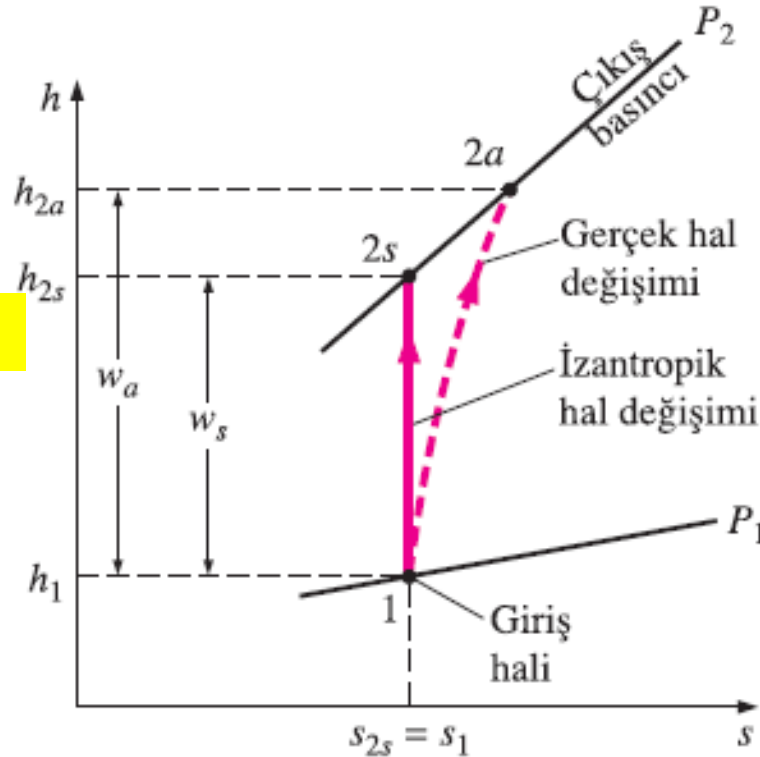
Pompa için

$$\eta_K = \frac{w_t}{w_a}$$

İzotermal verim



Kompresörler iş girdisini en aza indirmek için bazen isteyerek soğutulurlar.



Adyabatik bir kompresörün izantropik ve gerçek hal değişimi için h - s diyagramı.

Adyabatik olmayan bir kompresör için izantropik verimi kullanabilir misiniz?

Adyabatik bir kompresör için izotermal verimi kullanabilir misiniz?

Lülelerin İzantropik Verimi

$$\eta_L = \frac{\text{Lüle girişindeki gerçek KE}}{\text{Lüle çıkışındaki izantropik KE}} = \frac{V_{2a}^2}{V_{2s}^2}$$

Lüleye giriş hızının lüleden çıkış hızına oranla çok küçük olduğu kabul edilirse, enerji dengesi

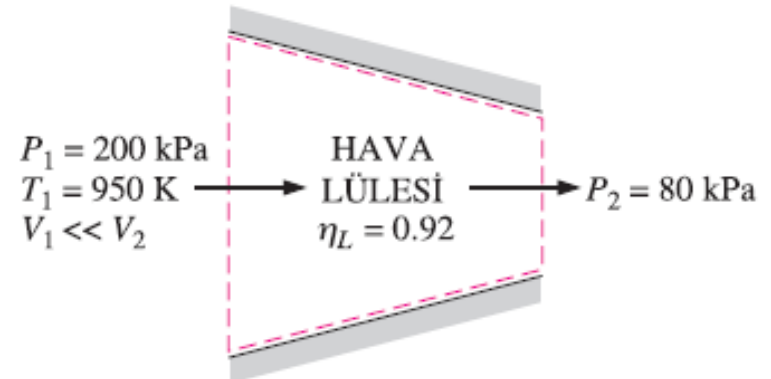
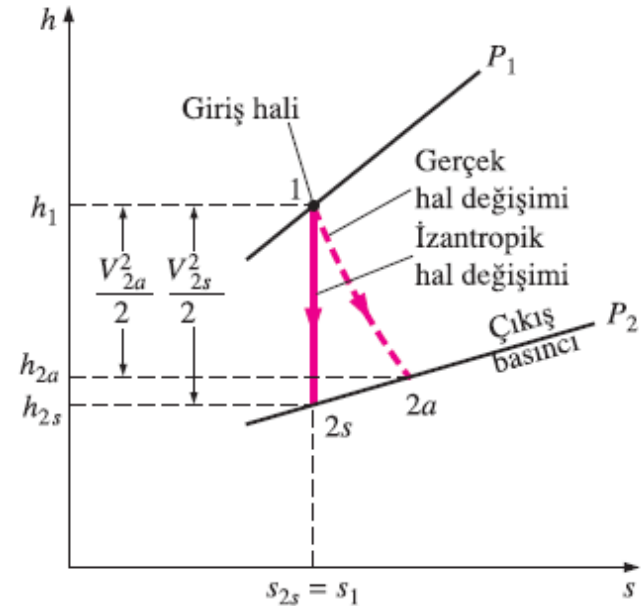
$$h_1 = h_{2a} + \frac{V_{2a}^2}{2}$$

O halde,

$$\eta_T \cong \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}}$$

Bir maddenin gerçek bir lüleden daha yüksek sıcaklıkta (böylece daha düşük hızda) ayrılması sürtünmenin bir sonucudur.

Adyabatik bir lülenin izantropik ve gerçek hal değişimi için h - s diyagramı.



ENTROPİ DENGESİ

$$\left(\begin{array}{c} \text{Giren} \\ \text{toplam} \\ \text{enerji} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Çıkan} \\ \text{toplam} \\ \text{entropi} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Üretilen} \\ \text{toplam} \\ \text{entropi} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Sistemdeki} \\ \text{toplam entropi} \\ \text{değişimi} \end{array} \right)$$

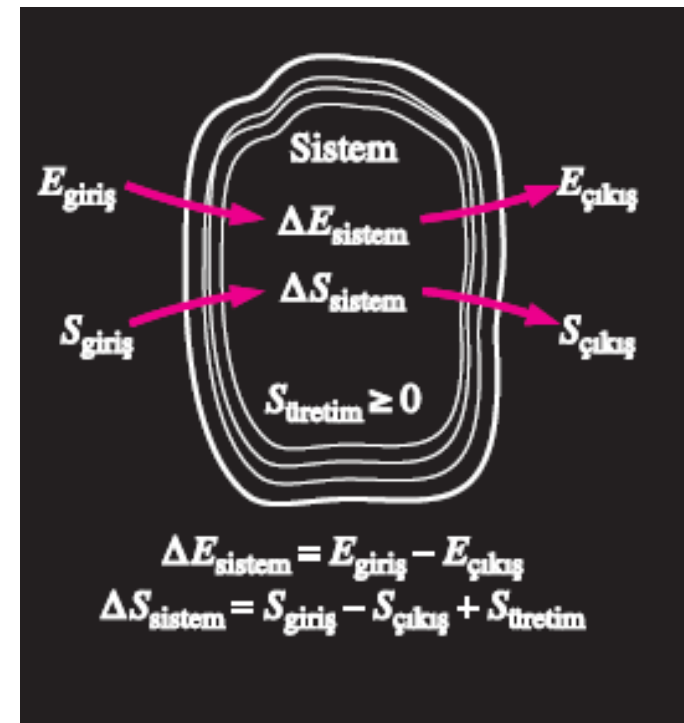
$$S_g - S_{\xi} + S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{sistem}}$$

Bir sistemin entropi değişimi, ΔS_{system}

$$\Delta S_{\text{sistem}} = S_{\text{son}} - S_{\text{ilk}} = S_2 - S_1$$

Sistemin özellikleri kararlı olmadığında

$$S_{\text{sistem}} = \int s \, \delta m = \int_V s \rho \, dV$$



Bir sistem için enerji ve entropi dengeleri

Entropi Geçişinin Mekanizmaları, S_{in} ve S_{out}

1 Isı Geçışı

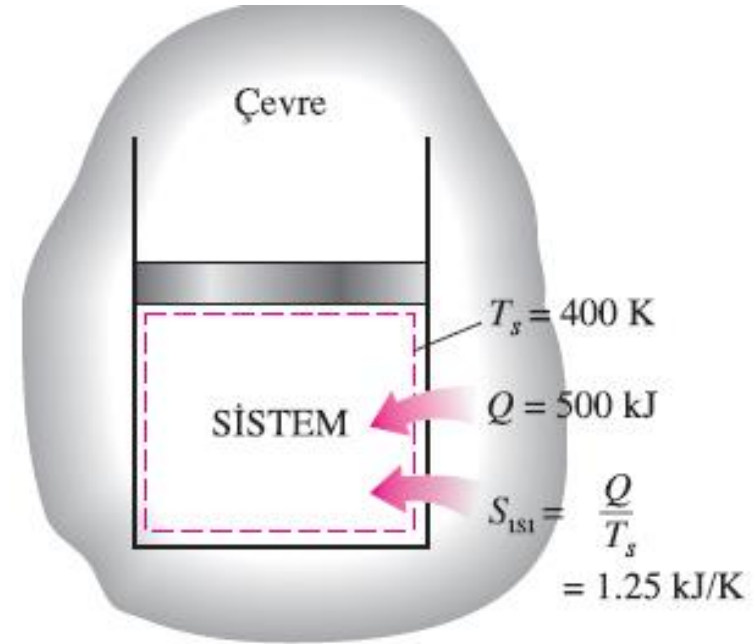
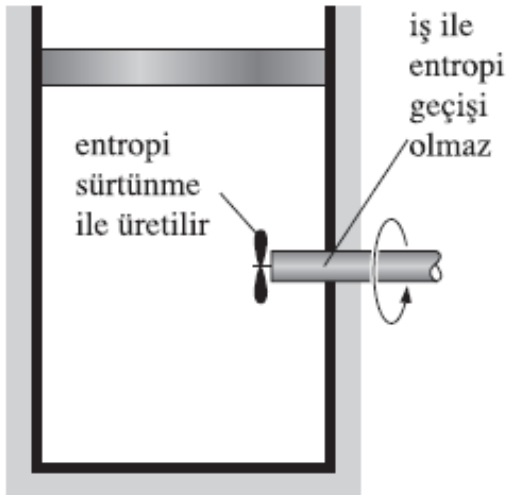
Isı geçişi tarafından entropi geçişi:

$$S_{isi} = \frac{Q}{T} \quad (T = \text{sabit})$$

$$S_{isi} = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} \equiv \sum \frac{Q_k}{T_k}$$

İş tarafından entropi geçişi:

$$S_{i\dot{s}} = 0$$



Isı geçişine daima Q/T miktarında entropi transferi tarafından eşlik edilir, orada sınır sıcaklığı T 'dir.

İş sistem sınırlarından geçerken entropi eşlik etmez. Fakat iş enerjinin daha az yararlı formunda iken sistem içinde entropi üretilebilir.

Entropi Geçişinin Mekanizmaları, S_{in} ve S_{out}

2 Kütle Akışı

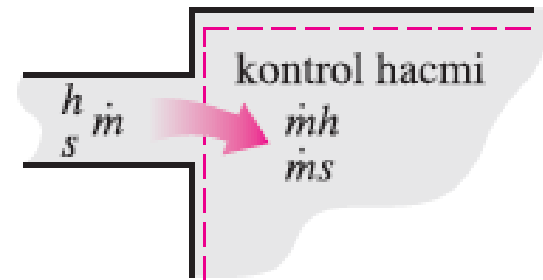
Kütle tarafından entropi geçişi:

$$S_{k\ddot{u}tle} = m s$$

Hal değişimi esnasında
kütlenin özeliği değiştiğinde,

$$\dot{S}_{k\ddot{u}tle} = \int_{A_c} s \rho V_n dA_c$$

$$S_{k\ddot{u}tle} = \int s \delta m = \int_{\Delta t} \dot{S}_{k\ddot{u}tle} dt$$



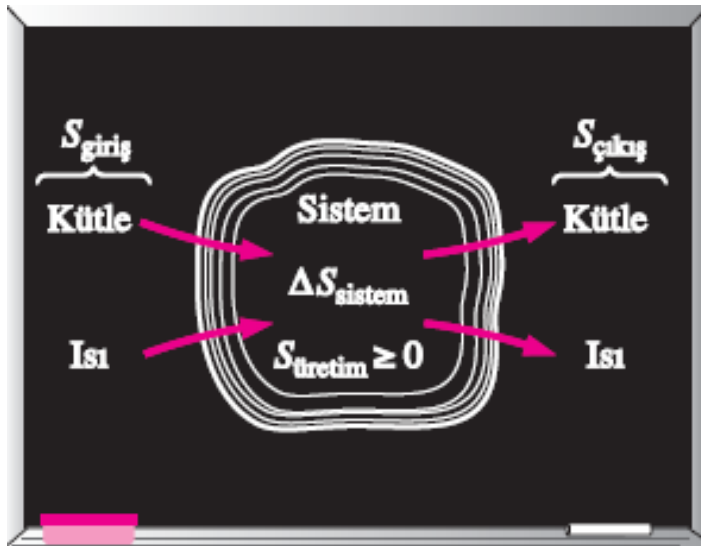
Kütle enerji olduğu kadar entropi de içerir, ve böylece sisteme yada sistemden kütle akışına enerji ve entropi geçişi tarafından eşlik edilir.

Entropi Üretimi, $S_{\text{üretim}}$

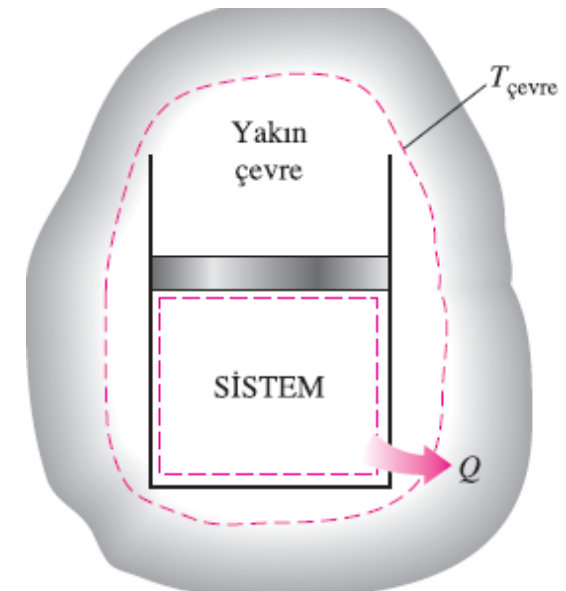
$$\underbrace{S_g - S_{\varphi}}_{\text{Isı ve kütle ile gerçekleşen net entropi geçişi}} + \underbrace{S_{\text{üretim}}}_{\text{Entropi üretim}} = \underbrace{\Delta S_{\text{sistem}}}_{\text{Entropideki değişim}}$$

$$\underbrace{\dot{S}_g - \dot{S}_{\varphi}}_{\text{Birim zamanda ısı ve kütle ile gerçekleşen net entropi geçişi}} + \underbrace{\dot{S}_{\text{üretim}}}_{\text{Birim zamandaki entropi üretimi}} = \underbrace{dS_{\text{sistem}}/dt}_{\text{Birim zamanda entropideki değişim}}$$

$$(s_g - s_{\varphi}) + s_{\text{üretim}} = \Delta s_{\text{sistem}} \quad (\text{kJ/kg} \cdot \text{K})$$



Sistem sınırları dışındaki entropi üretimi sistem ve onun yakın çevresini içeren genişletilmiş bir sistemde bir entropi dengesinin yazılması ile izah edilebilir.



Genel bir sistem için entropi geçiş mekanizması

Kapalı Sistemler

Kapalı sistem:
$$\sum \frac{Q_k}{T_k} + S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{sistem}} = S_2 - S_1 \quad (\text{kJ/K})$$

Bir hal değişimi sırasında kapalı bir sistemin entropi değişimi, ısı geçişi ile sistem sınırından geçen net entropi ile sistem sınırı içinde üretilen entropinin toplamına eşittir.

Adyabatik kapalı sistem:
$$S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{adyabatik sistem}}$$

Sistem + Çevre:
$$S_{\text{üretim}} = \sum \Delta S = \Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{çevre}}$$

$$\Delta S_{\text{sistem}} = m(s_2 - s_1) \qquad \Delta S_{\text{çevre}} = Q_{\text{çevre}}/T_{\text{çevre}}$$

Kontrol Hacimleri

$$\sum \frac{Q_k}{T_k} + \sum m_g s_g - \sum m_\varphi s_\varphi + S_{\text{üretim}} = (S_2 - S_1)_{\text{KH}} \quad (\text{kJ/K})$$

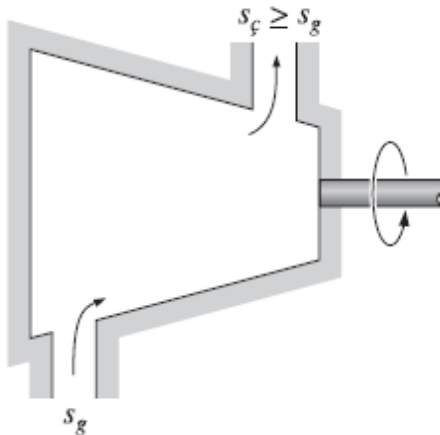
$$\sum \frac{Q_k}{T_k} + \sum \dot{m}_g s_g - \sum \dot{m}_\varphi s_\varphi + \dot{S}_{\text{üretim}} = dS_{\text{CV}}/dt \quad (\text{kW/K})$$

Sürekli Akım: $\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_\varphi s_\varphi - \sum \dot{m}_g s_g - \sum \frac{\dot{Q}_k}{T_k}$

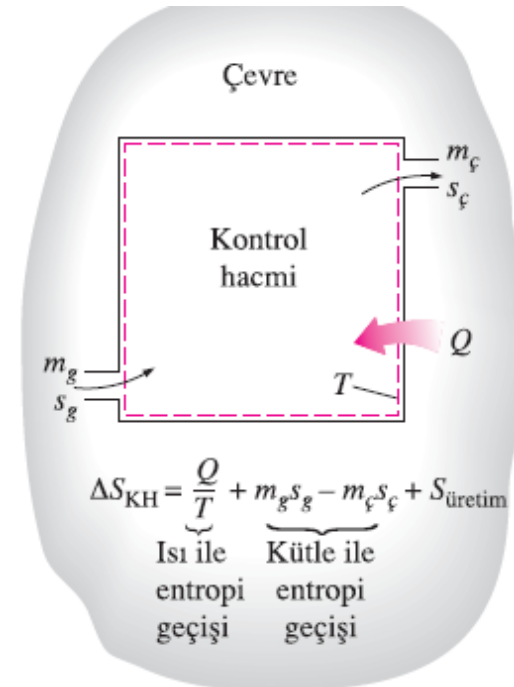
Sürekli akım; tek akış: $\dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{m}(s_\varphi - s_g) - \sum \frac{\dot{Q}_k}{T_k}$

Sürekli akım, tek akış, adyabatik: $\dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{m}(s_\varphi - s_g)$

Bir hal değişimi sırasında kontrol hacmi içindeki entropi değişimi miktarı; ısı geçişi ile kontrol hacmi sınırında gerçekleşen entropi geçişinin miktarı ve kontrol hacmi içine kütle akışı ile entropi geçişinin net miktarı ile tersinmezliklerin bir sonucu olarak kontrol hacmi içindeki entropi üretimi miktarının toplamına eşittir.



Bir maddenin entropisi tek-akışlı, adyabatik, sürekli akışlı düzeneklerin içinden akarken daima artar (yada tersinir bir hal değişimi durumunda sabit kalır).



$$\Delta S_{\text{KH}} = \underbrace{\frac{Q}{T}}_{\text{Isı ile entropi geçişi}} + \underbrace{m_g s_g - m_\varphi s_\varphi}_{\text{Kütle ile entropi geçişi}} + S_{\text{üretim}}$$

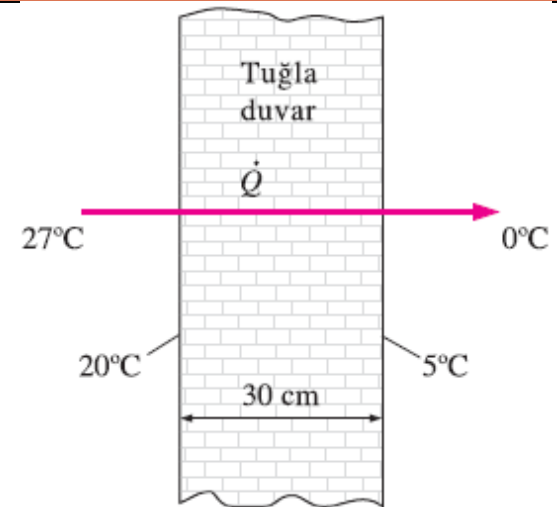
Bir kontrol hacminin entropi değişimi ısı transferi kadar kütle akışının da bir sonucudur.

ÖRNEKLER

Bir duvar boyunca ısı transferi için entropi dengesi

$$\underbrace{\dot{S}_g - \dot{S}_\varphi}_{\text{Birin zamanda ısı ve kütile ile gerçekleşen entropi geçişi}} + \underbrace{\dot{S}_{\text{üret}}}_{\text{Birim zamandaki entropi üretimi}} = \underbrace{\frac{dS_{\text{sistem}}}{dt}}_{\text{Birim zamanda entropideki değişim}} \xrightarrow{0 \text{ (sürekli)}}$$

$$\left(\frac{\dot{Q}}{T}\right)_g - \left(\frac{\dot{Q}}{T}\right)_\varphi + \dot{S}_{\text{üretim}} = 0$$

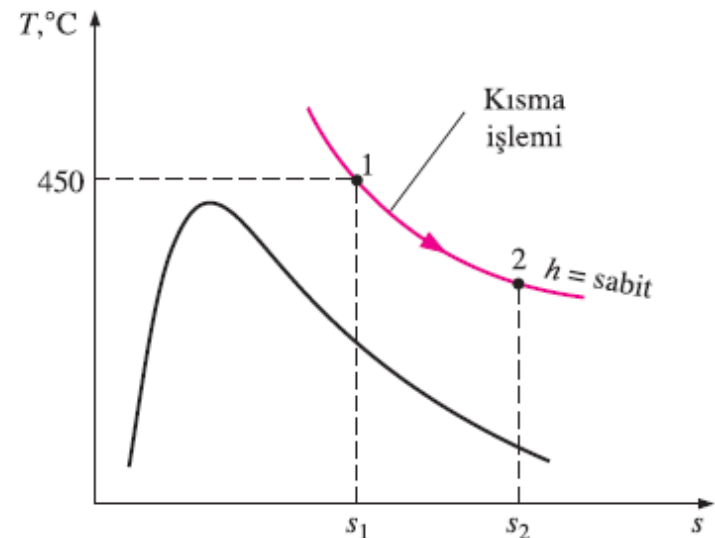
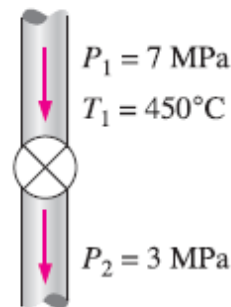


Bir kısılma işlemi için entropi dengesi

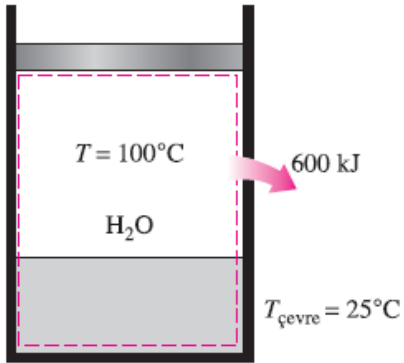
$$\underbrace{\dot{S}_g - \dot{S}_\varphi}_{\text{Birim zamanda ısı ve kütile ile gerçekleşen entropi geçişi}} + \underbrace{\dot{S}_{\text{üretim}}}_{\text{Birim zamandaki entropi üretimi}} = \underbrace{\frac{dS_{\text{sistem}}}{dt}}_{\text{Birim zamanda entropideki değişim}} \xrightarrow{0 \text{ (sürekli)}}$$

$$\dot{m}s_1 - \dot{m}s_2 + \dot{S}_{\text{üretim}} = 0$$

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

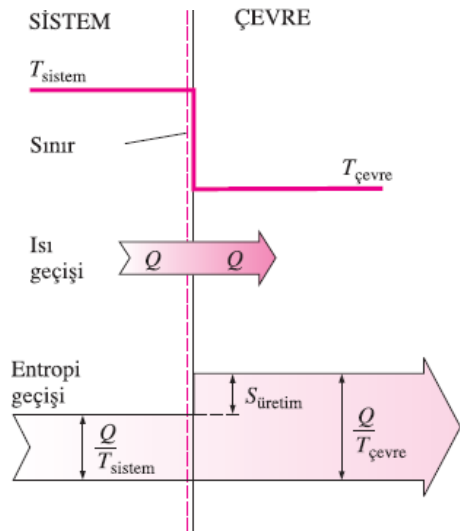


Isı Geçişi ile Birlikte Gerçekleşen Entropi Üretimi

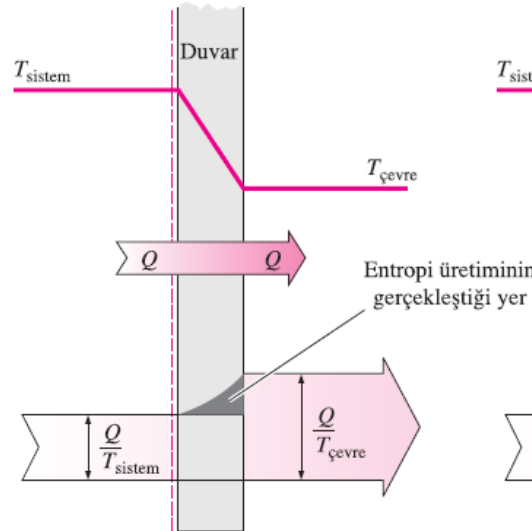


$$\underbrace{S_g - S_{\text{ç}}}_{\text{Isı ve kütle ile gerçekleşen enerji geçişi}} + \underbrace{S_{\text{üret}}}_{\text{Entropi üretimi}} = \underbrace{\Delta S_{\text{sistem}}}_{\text{Entropideki değişim}}$$

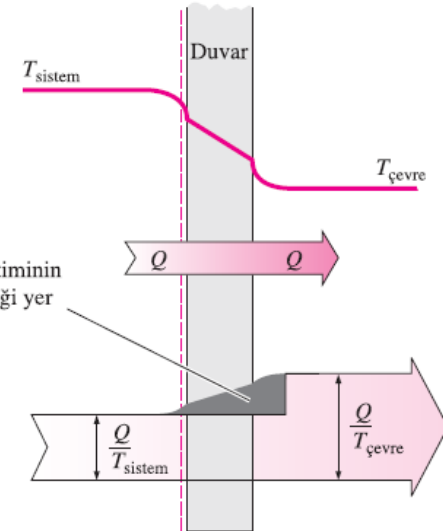
$$-\frac{Q_{\text{ç}}}{T_b} + S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{üretim}}$$



(a) Duvar ihmal ediliyor



(b) Duvar gözönüne alınıyor



(c) Duvarla birlikte sistem ve çevre içindeki sıcaklık farklılıkları da gözönüne alınıyor.

Sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi sırasında entropi üretiminin grafiksel gösterimi

Özet

- Entropi
- Entropinin Artışı İlkesi
- Entropi üzerine bazı yorumlar
- Saf maddelerin entropi değişimi
- İzantropik hal değişimleri
- Entropi içeren özellik diyagramları
- Entropi nedir?
- $T ds$ bağıntıları
- Katı ve sıvıların entropi değişimi
- İdeal gazların entropi değişimi
- Tersinir sürekli akış işi
- Kompresör işinin azaltılması
- Sürekli akışlı düzeneklerin izantropik verimleri
- Entropi dengesi

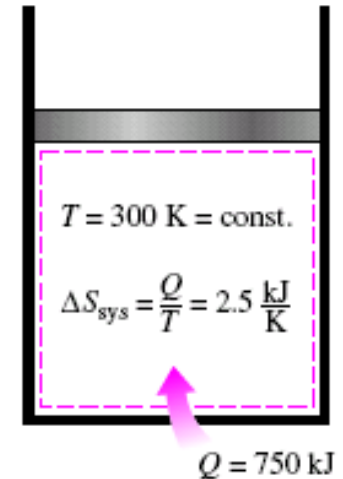
ÖRNEK

Bir hal değişimi sırasında, sistemden 300 K sıcaklıktaki çevre havaya, şekilde gösterildiği gibi 750 kJ ısı geçişi olmaktadır. Bu hal değişimi sırasında çevre havanın entropi değişimini hesaplayın

Çözüm

Çevre hava büyük miktarlarda ısı alışverişini sıcaklığı değişmeden yapabilmektedir. Bu nedenle, 300 K sıcaklıkta bir ısı enerji deposu olarak gözönüne alınabilir ve entropi değişimi:

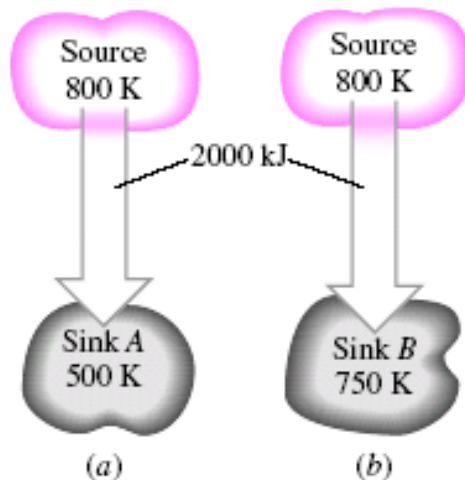
$$\Delta S_{\text{sys, isothermal}} = \frac{Q}{T_{\text{sys}}} = \frac{750 \text{ kJ}}{300 \text{ K}} = 2.5 \text{ kJ/K}$$



$Q_{\text{çevre}}$ ve $\Delta S_{\text{çevre}}$ artı değerlerdir, çünkü ısı geçişi çevreye olmaktadır.

ÖRNEK

800 K sıcaklıktaki bir ısı enerji deposundan (a) 500 K, (b) 750 K sıcaklığındaki bir ısı enerji deposuna 2000 kJ ısı ısı geçişi olmaktadır. Hangi işlemin daha tersinmez olduğunu belirleyin.



(a) For the heat transfer process to a sink at 500 K:

$$\Delta S_{\text{source}} = \frac{Q_{\text{source}}}{T_{\text{source}}} = \frac{-2000 \text{ kJ}}{800 \text{ K}} = -2.5 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta S_{\text{sink}} = \frac{Q_{\text{sink}}}{T_{\text{sink}}} = \frac{2000 \text{ kJ}}{500 \text{ K}} = +4.0 \text{ kJ/K}$$

and

$$S_{\text{gen}} = \Delta S_{\text{total}} = \Delta S_{\text{source}} + \Delta S_{\text{sink}} = (-2.5 + 4.0) \text{ kJ/K} = +1.5 \text{ kJ/K}$$

(b) Repeating the calculations in part (a) for a sink temperature of 750 K, we obtain

$$\Delta S_{\text{source}} = -2.5 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta S_{\text{sink}} = +2.7 \text{ kJ/K}$$

and

$$S_{\text{gen}} = \Delta S_{\text{total}} = (-2.5 + 2.7) \text{ kJ/K} = +0.2 \text{ kJ/K}$$

İkinci şıktaki ısı geçişi için toplam entropi değişimi daha azdır, bu nedenle tersinmezlik daha azdır. Bu beklenen bir sonuçtur, çünkü ısı enerji depoları arasındaki sıcaklık farkı daha küçüktür. Bu hal değişimleriyle ilgili tersinmezlikler iki ısı enerji deposu arasında bir Carnot ısı makinesini çalıştırarak yokedilebilir, bu durumda $\Delta S_{\text{top}} = 0$ olur.

ÖRNEK

Sabit hacimli kapalı bir kaptaki başlangıçta 20 °C sıcaklık ve 140 kPa basınçta 5 kg soğutucu akışkan-12 bulunmaktadır. Daha sonra soğutucu akışkandan basıncı 100 kPa olana kadar ısı çekilmekte ve bu arada soğutucu akışkan bir döner kanatla karıştırılmaktadır. Bu hal değişimi sırasında soğutucu akışkan-134a'nın entropi değişimini hesaplayın.

Çözüm

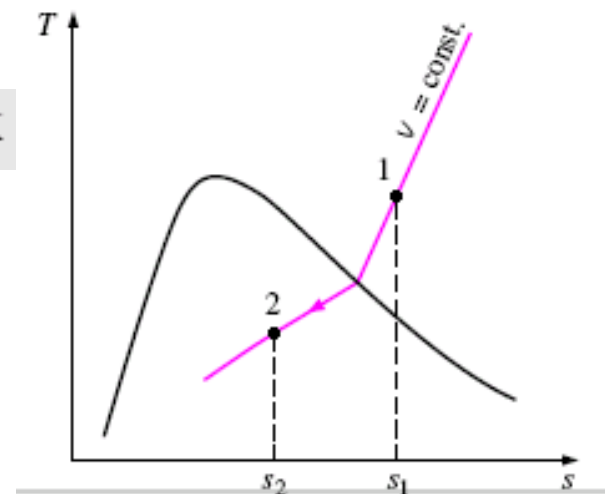
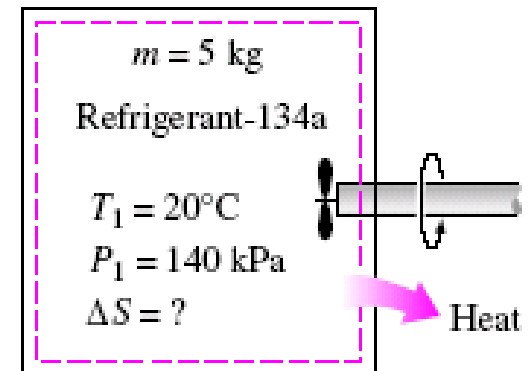
$$\text{State 1:} \quad \left. \begin{array}{l} P_1 = 140 \text{ kPa} \\ T_1 = 20^\circ\text{C} \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} s_1 = 1.0624 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \\ v_1 = 0.16544 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array} \right\}$$

$$\text{State 2:} \quad \left. \begin{array}{l} P_2 = 100 \text{ kPa} \\ (v_2 = v_1) \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} v_f = 0.0007259 \text{ m}^3/\text{kg} \\ v_g = 0.19254 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array} \right\}$$

$$x_2 = \frac{v_2 - v_f}{v_{fg}} = \frac{0.16544 - 0.0007259}{0.19254 - 0.0007259} = 0.859$$

$$s_2 = s_f + x_2 s_{fg} = 0.07188 + (0.859)(0.87995) = 0.8278 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

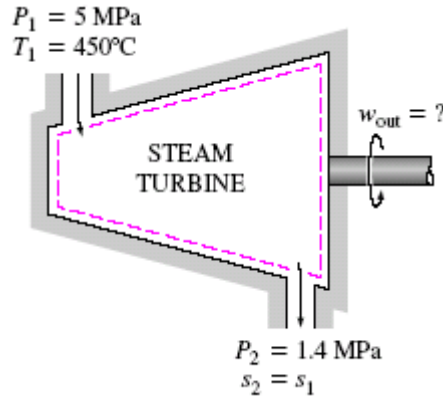
$$\begin{aligned} \Delta S &= m(s_2 - s_1) = (5 \text{ kg})(0.8278 - 1.0624) \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \\ &= -1.173 \text{ kJ/K} \end{aligned}$$



ÖRNEK

Su buharı sürekli akışlı adyabatik bir türbine 5 MPa basınç ve 450 °C sıcaklıkta girmekte ve 1.4 MPa basınçta çıkmaktadır. Akışın tersinir, kinetik ve potansiyel enerji değişimlerinin ihmal edilebilir olduğunu kabul ederek, türbindeki akış sırasında buharın birim kütlesi tarafından yapılan işi hesaplayın.

Çözüm

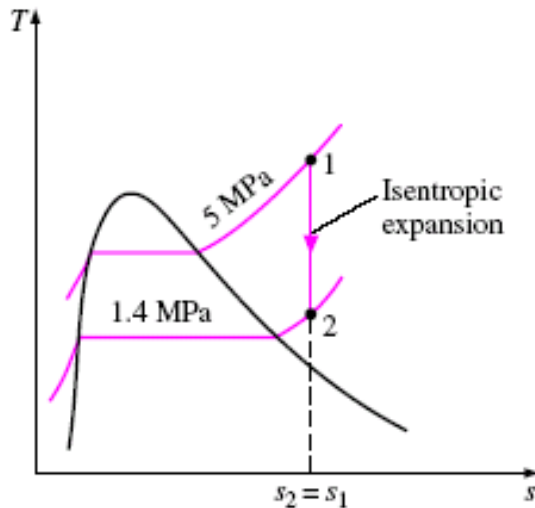


$$\underbrace{\dot{E}_{\text{in}} - \dot{E}_{\text{out}}}_{\text{Rate of net energy transfer by heat, work, and mass}} = \underbrace{\Delta \dot{E}_{\text{system}}}_{\substack{\text{Rate of change in internal, kinetic,} \\ \text{potential, etc., energies}}} \stackrel{0 \text{ (steady)}}{=} 0$$

$$\dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_{\text{out}}$$

$$\dot{m}h_1 = \dot{W}_{\text{out}} + \dot{m}h_2 \quad (\text{since } \dot{Q} = 0, \text{ ke} \approx \text{pe} \approx 0)$$

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



$$\text{State 1:} \quad \left. \begin{array}{l} P_1 = 5 \text{ MPa} \\ T_1 = 450^\circ\text{C} \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} h_1 = 3317.2 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = 6.8210 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{array} \right\}$$

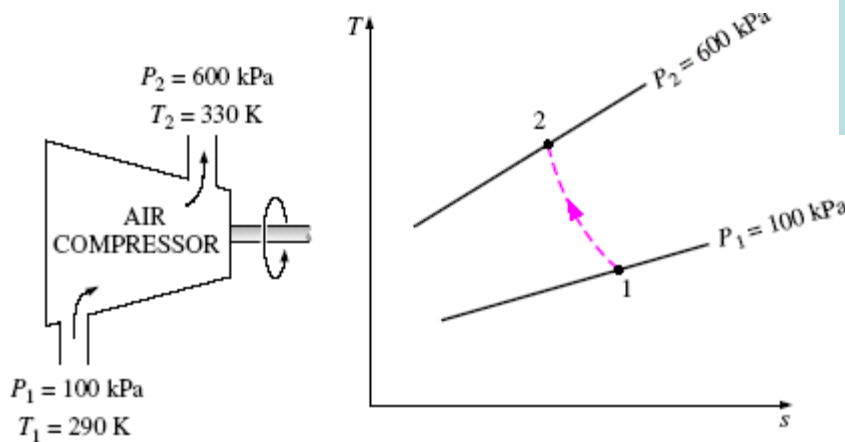
$$\text{State 2:} \quad \left. \begin{array}{l} P_2 = 1.4 \text{ MPa} \\ s_2 = s_1 \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} h_2 = 2967.4 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\}$$

$$w_{\text{out}} = h_1 - h_2 = 3317.2 - 2967.4 = 349.8 \text{ kJ/kg}$$

ÖRNEK

Azot gazı sürekli akışlı açık bir sistemde, 100 kPa basınç ve 17 °C sıcaklıktan 600 kPa basınç ve 57 °C sıcaklığa sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırma işlemi sırasında azotun entropi değişimini, (a) azot tablosundaki özellik değerlerini kullanarak, (b) ortalama özgül ısıları kullanarak hesaplayın.

Verilen koşullarda azot mükemmel gaz kabul edilebilir, çünkü kritik nokta değerleriyle karşılaştırıldığında sıcaklığı yüksek, basıncı düşüktür (azot için, $T_{cr} = -147$ °C ve $P_{cr} = 3390$ kPa). Bu nedenle mükemmel gaz kabulü altında çıkarılan entropi değişimi bağıntıları bu probleme uygulanabilir.



(a) Azot tablosunda (Tablo A-18) verilen özellikler birim-mol için verilmiştir. Verilen sıcaklıklardaki s° değerleri tablodan okunur ve denkleme konursa,

$$\begin{aligned} s_2 - s_1 &= s_2^\circ - s_1^\circ - R \ln \frac{P_2}{P_1} \\ &= [(1.79783 - 1.66802) \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}] - (0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \ln \frac{600 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} \\ &= -0.3844 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{aligned}$$

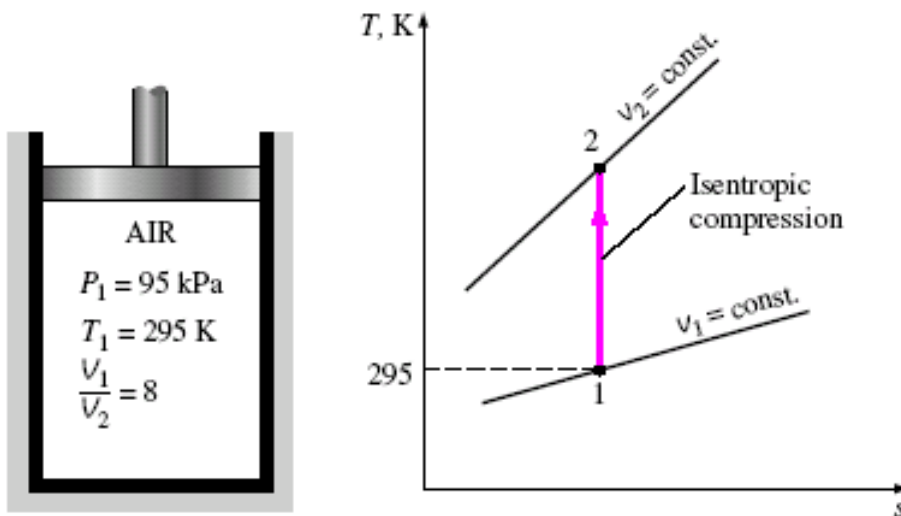
b) Bu kez C_p değeri sabit kabul edilsin ve ortalama sıcaklık olan 37 °C sıcaklıktaki C_p değeri (Tablo A-26) kullanılsın.

$$\begin{aligned} s_2 - s_1 &= c_{p,av} \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \\ &= (1.006 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \ln \frac{330 \text{ K}}{290 \text{ K}} - (0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \ln \frac{600 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} \\ &= -0.3842 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{aligned}$$

ÖRNEK

Hava, adyabatik bir piston-silindir düzeneğinde tersinir bir hal değişimiyle sıkıştırılmaktadır. Başlangıçta havanın sıcaklığı 22°C, basıncı 95 kPa'dır. Piston-silindir düzeneğinin hacimsel sıkıştırma oranı $V_1/V_2 = 8$ olduğuna göre, havanın son haldeki sıcaklığını hesaplayın.

Verilen koşullarda hava mükemmel bir gaz kabul edilebilir, çünkü kritik nokta değerleriyle karşılaştırıldığında, sıcaklığı yüksek, basıncı düşüktür. Bu nedenle mükemmel gazlar için geliştirilen izantropik bağıntılar bu probleme uygulanabilir.



For closed systems:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{v_2}{v_1}$$

At $T_1 = 295 \text{ K}$:

$$v_{r1} = 647.9$$

$$v_{r2} = v_{r1} \left(\frac{v_2}{v_1} \right) = (647.9) \left(\frac{1}{8} \right) = 80.99 \rightarrow T_2 = 662.7 \text{ K}$$

İkinci çözüm yolu Son haldeki sıcaklık, havanın özgül ısısını sabit kabul ederek hesaplanabilir:

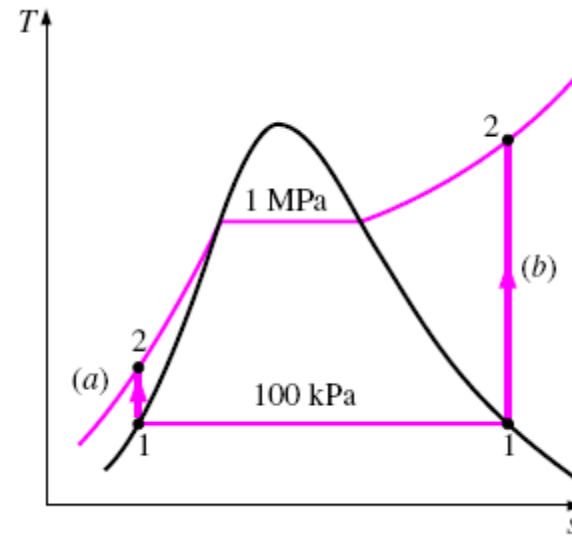
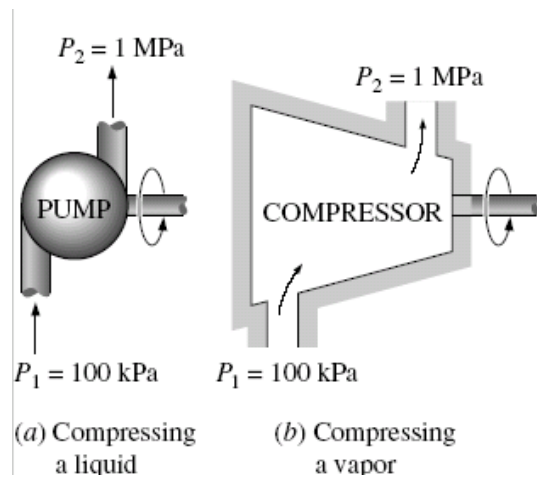
$$\left(\frac{T_2}{T_1} \right)_{s=\text{const.}} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}$$

$$T_2 = (295 \text{ K})(8)^{1.391-1} = 665.2 \text{ K}$$

ÖRNEK

Suyu 100 kPa basınçtan 1 MPa basınca sürekli akışlı bir sistemde izantropik olarak sıkıştırmak için gerekli işi, suyun ilk halde (a) doymuş sıvı, (b) doymuş buhar olduğunu kabul ederek hesaplayın. Kinetik ve potansiyel enerji değişimlerini ihmal edin.

Aracı akışkan sıvı olduğu için pompadaki işin çok daha az olması beklenmektedir. Sıkıştırmanın tersinir olduğu, kinetik ve potansiyel enerjilerin ihmal edilebileceği problemde belirtilmiştir.



(a) Bu durumda su başlangıçta doymuş sıvı halindedir, özgül hacmi Tablo A-5' ten bulunabilir:

$$v_1 = v_{f@ 100 \text{ kPa}} = 0.001043 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\begin{aligned} w_{\text{rev, in}} &= \int_1^2 v \, dP \cong v_1(P_2 - P_1) \\ &= (0.001043 \text{ m}^3/\text{kg})[(1000 - 100) \text{ kPa}] \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3} \right) \\ &= \mathbf{0.94 \text{ kJ/kg}} \end{aligned}$$

(b) Bu kez su başlangıçta doymuş buhar halindedir ve sıkıştırma sırasında buhar halinde kalır. Bir gazın özgül hacmi sıkıştırma sırasında önemli ölçüde değiştiği için,

$$\left. \begin{array}{l} T ds = dh - v dP \quad (\text{Eq. 7-24}) \\ ds = 0 \quad (\text{isentropic process}) \end{array} \right\} v dP = dh$$

$$w_{\text{rev, in}} = \int_1^2 v dP = \int_1^2 dh = h_2 - h_1$$

$$\text{State 1:} \quad \left. \begin{array}{l} P_1 = 100 \text{ kPa} \\ (\text{sat. vapor}) \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = 2675.0 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = 7.3589 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{array} \quad (\text{Table A-5})$$

$$\text{State 2:} \quad \left. \begin{array}{l} P_2 = 1 \text{ MPa} \\ s_2 = s_1 \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_2 = 3194.5 \text{ kJ/kg} \end{array} \quad (\text{Table A-6})$$

Thus,

$$w_{\text{rev, in}} = (3194.5 - 2675.0) \text{ kJ/kg} = \mathbf{519.5 \text{ kJ/kg}}$$

ÖRNEK

Hava sürekli akışlı, tersinir bir kompresörde 100 kPa basınç ve 300 K sıcaklıktan, 900 kPa basınca sıkıştırılmaktadır. Akışkanın birim kütlesi için sıkıştırma işini, sıkıştırmanın (a) $k = 1.4$ olmak üzere izantropik, (b) $n = 1.3$ olmak üzere politropik, (c) sabit sıcaklıkta, (d) $n=1.3$ olmak üzere tersinir, iki kademeli ve arasoğutmalı olması durumunda hesaplayın.

Verilen koşullarda hava mükemmel gaz kabul edilebilir, çünkü kritik nokta değerleriyle karşılaştırıldığı zaman sıcaklığı yüksek ve basıncı düşüktür.

(a) Isentropic compression with $k = 1.4$:

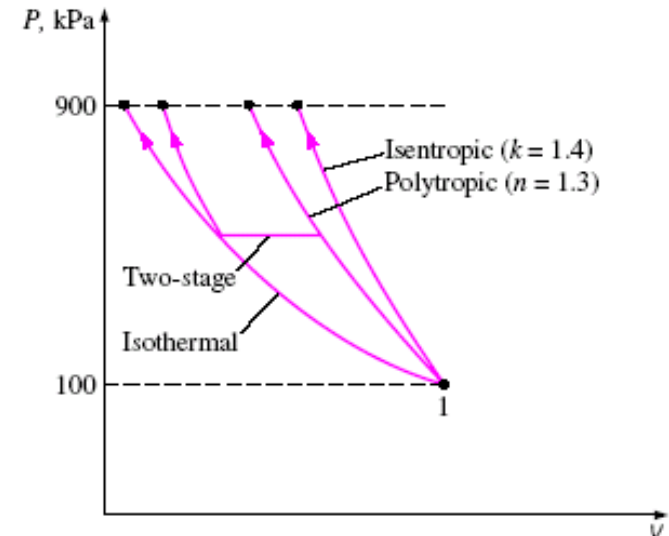
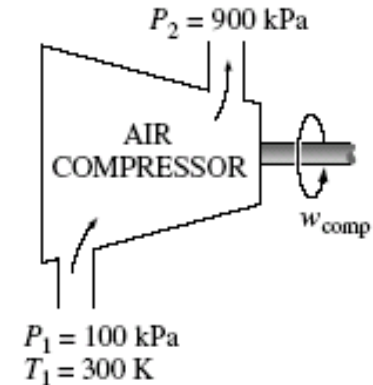
$$\begin{aligned}w_{\text{comp, in}} &= \frac{kRT_1}{k-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right] \\&= \frac{(1.4)(0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(300 \text{ K})}{1.4 - 1} \left[\left(\frac{900 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} \right)^{(1.4-1)/1.4} - 1 \right] \\&= 263.2 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

(b) Polytropic compression with $n = 1.3$:

$$\begin{aligned}w_{\text{comp, in}} &= \frac{nRT_1}{n-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right] \\&= \frac{(1.3)(0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(300 \text{ K})}{1.3 - 1} \left[\left(\frac{900 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} \right)^{(1.3-1)/1.3} - 1 \right] \\&= 246.4 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

(c) Isothermal compression:

$$\begin{aligned}w_{\text{comp, in}} &= RT \ln \frac{P_2}{P_1} = (0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(300 \text{ K}) \ln \frac{900 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} \\&= 189.2 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$



(d) Ideal two-stage compression with intercooling ($n = 1.3$): In this case, the pressure ratio across each stage is the same, and its value is

$$P_x = (P_1 P_2)^{1/2} = [(100 \text{ kPa})(900 \text{ kPa})]^{1/2} = 300 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} w_{\text{comp, in}} &= 2w_{\text{comp I, in}} = 2 \frac{nRT_1}{n-1} \left[\left(\frac{P_x}{P_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right] \\ &= \frac{2(1.3)(0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(300 \text{ K})}{1.3-1} \left[\left(\frac{300 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} \right)^{(1.3-1)/1.3} - 1 \right] \\ &= \mathbf{215.3 \text{ kJ/kg}} \end{aligned}$$

Yukarıdan görüleceği gibi, sabit sıcaklıkta sıkıştırma en az işi, izantropik sıkıştırma da en çok işi gerektirmektedir, iki kademeli politropik sıkıştırma kullanıldığı zaman kompresör işi azalmaktadır. Kademe sayısı arttıkça, kompresör işi sabit sıcaklıkta sıkıştırma için bulunan değere yaklaşacaktır.

ÖRNEK

Su buharı sürekli akışlı bir adyabatik türbine 3 MPa basınç ve 400 °C sıcaklıkta girmekte, 50 kPa basınç ve 100 °C sıcaklıkta çıkmaktadır. Türbinin gücü 2 MW olup buharın türbindeki kinetik enerji değişimi ihmal edilebilir, (a) Türbinin adyabatik verimini, (b) türbinde akan su buharının kütle debisini hesaplayın.

Çözüm

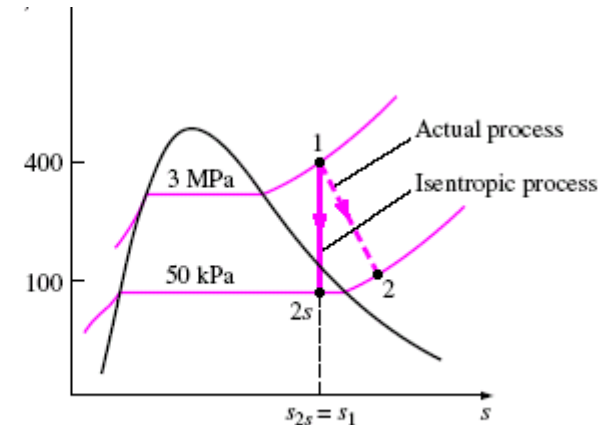
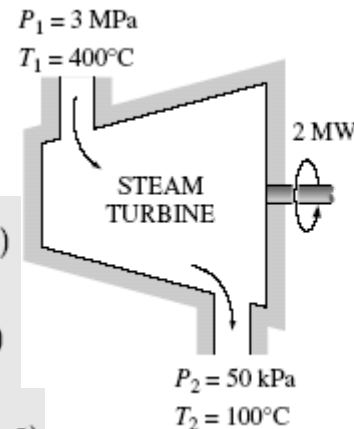
(a) Türbin adyabatiktir, ayrıca akışın kinetik ve potansiyel enerjilerindeki değişim ihmal edilebilecek değerlerdedir.

$$\begin{aligned}
 \text{State 1: } & \left. \begin{aligned} P_1 &= 3 \text{ MPa} \\ T_1 &= 400^\circ\text{C} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} h_1 &= 3231.7 \text{ kJ/kg} \\ s_1 &= 6.9235 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{aligned} \quad (\text{Table A-6}) \\
 \text{State 2a: } & \left. \begin{aligned} P_{2a} &= 50 \text{ kPa} \\ T_{2a} &= 100^\circ\text{C} \end{aligned} \right\} h_{2a} = 2682.4 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Table A-6}) \\
 \text{State 2s: } & P_{2s} = 50 \text{ kPa} \rightarrow \begin{aligned} s_f &= 1.0912 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \\ s_g &= 7.5931 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{aligned} \quad (\text{Table A-5}) \\
 & (s_{2s} = s_1)
 \end{aligned}$$

$$x_{2s} = \frac{s_{2s} - s_f}{s_{fg}} = \frac{6.9235 - 1.0912}{6.5019} = 0.897$$

$$h_{2s} = h_f + x_{2s}h_{fg} = 340.54 + 0.897(2304.7) = 2407.9 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_T \cong \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}} = \frac{3231.7 - 2682.4}{3231.7 - 2407.9} = \mathbf{0.667, \text{ or } 66.7\%}$$



(b) Türbinden geçen su buharının kütle debisi sürekli akışlı açık sistem için enerjinin korunumu denkleminde belirlenebilir

$$\begin{aligned}
 \dot{E}_{in} &= \dot{E}_{out} \\
 \dot{m}h_1 &= \dot{W}_{a,out} + \dot{m}h_{2a} \\
 \dot{W}_{a,out} &= \dot{m}(h_1 - h_{2a}) \\
 2 \text{ MW} \left(\frac{1000 \text{ kJ/s}}{1 \text{ MW}} \right) &= \dot{m}(3231.7 - 2682.4) \text{ kJ/kg} \\
 \dot{m} &= \mathbf{3.64 \text{ kg/s}}
 \end{aligned}$$

ÖRNEK

Hava, sürekli akışlı bir adyabatik kompresörde 100 kPa basınç ve 12 °C sıcaklıktan, 800 kPa basınca sıkıştırılmaktadır. Havanın kütle debisi 0.2 kg/s'dir, kompresörün adyabatik verimi yüzde 80'dir. (a) Havanın çıkış sıcaklığını ve (b) kompresörü çalıştırmak için gerekli gücü hesaplayın.

(a) Verilen koşullarda hava mükemmel gaz kabul edilebilir,

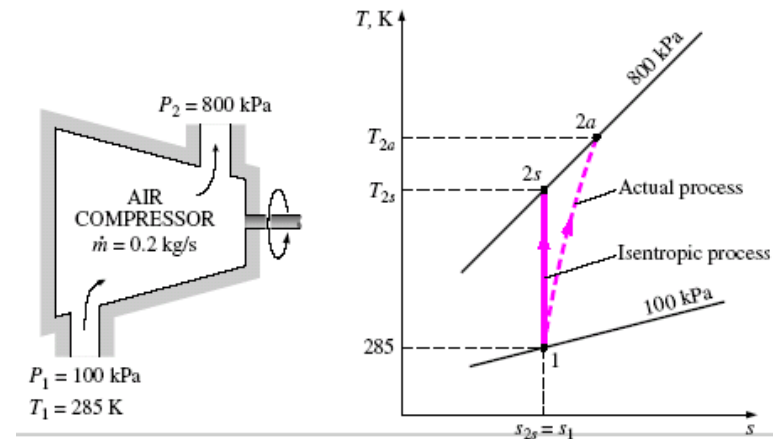
$$T_1 = 285 \text{ K} \rightarrow h_1 = 285.14 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Table A-21})$$
$$(P_{r1} = 1.1584)$$

$$P_{r2} = P_{r1} \left(\frac{P_2}{P_1} \right) = 1.1584 \left(\frac{800 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} \right) = 9.2672$$

$$P_{r2} = 9.2672 \rightarrow h_{2s} = 517.05 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Table A-21})$$

$$\eta_c \equiv \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1} \rightarrow 0.80 = \frac{(517.05 - 285.14) \text{ kJ/kg}}{(h_{2a} - 285.14) \text{ kJ/kg}}$$

$$h_{2a} = 575.03 \text{ kJ/kg} \rightarrow T_{2a} = 569.5 \text{ K} \quad (\text{Table A-21})$$



(b) Kompresörün gerektirdiği güç, sürekli akışlı açık sistemler için enerjinin korunumu denklemini kullanarak hesaplanabilir.

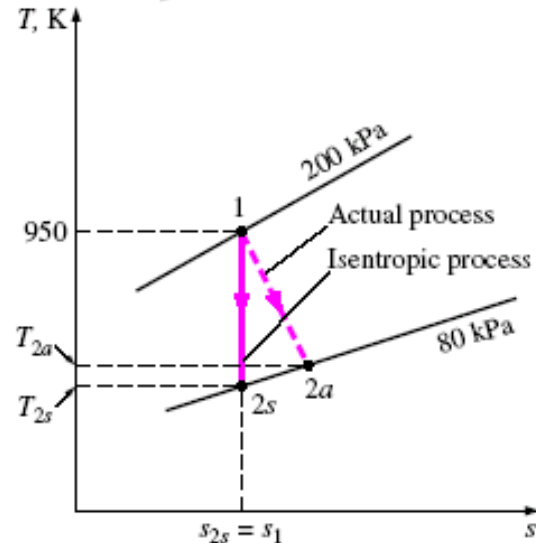
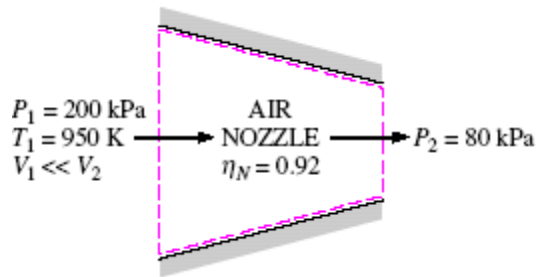
$$\begin{aligned} \dot{E}_{\text{in}} &= \dot{E}_{\text{out}} \\ \dot{m}h_1 + \dot{W}_{a, \text{in}} &= \dot{m}h_{2a} \\ \dot{W}_{a, \text{in}} &= \dot{m}(h_{2a} - h_1) \\ &= (0.2 \text{ kg/s})[(575.03 - 285.14) \text{ kJ/kg}] \\ &= 58.0 \text{ kW} \end{aligned}$$

ÖRNEK

200 kPa basınç ve 950 K sıcaklıktaki hava adyabatik bir lüleye düşük bir hızda girmekte ve 80 kPa basınçta çıkmaktadır. Lülenin adyabatik verimi yüzde 92 olduğuna göre, (a) olabilecek en yüksek çıkış hızını, (b) çıkış sıcaklığını ve (c) çıkış hızını hesaplayın.

Çözüm

Verilen koşullarda hava mükemmel gaz kabul edilebilir, çünkü kritik nokta değerleriyle karşılaştırıldığında sıcaklığı yüksek, basıncı ise düşüktür



(a) Lüle çıkışında en yüksek hız, lüledeki hal değişiminde tersinmezliklerin olmaması durumunda gerçekleşebilir.

$$\frac{T_{2s}}{T_1} = \left(\frac{P_{2s}}{P_1} \right)^{(k-1)/k}$$

$$T_{2s} = T_1 \left(\frac{P_{2s}}{P_1} \right)^{(k-1)/k} = (950 \text{ K}) \left(\frac{80 \text{ kPa}}{200 \text{ kPa}} \right)^{0.354/1.354} = 748 \text{ K}$$

$$e_{in} = e_{out}$$

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2} = h_{2s} + \frac{V_{2s}^2}{2}$$

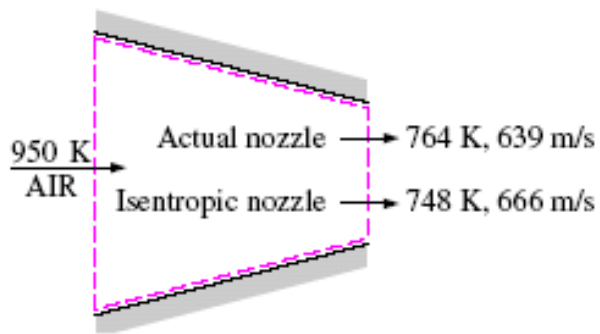
$$\begin{aligned} V_{2s} &= \sqrt{2(h_1 - h_{2s})} = \sqrt{2c_{p,av}(T_1 - T_{2s})} \\ &= \sqrt{2(1.099 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})[(950 - 748) \text{ K}] \left(\frac{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2}{1 \text{ kJ/kg}} \right)} \\ &= 666 \text{ m/s} \end{aligned}$$

(b) Havanın gerçek çıkış sıcaklığı, yukarıda verilen izantropik çıkış sıcaklığından daha yüksek olacaktır. Özgül ısılar sabit kabul edilirse,

$$\eta_N \cong \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}} = \frac{c_{p,av}(T_1 - T_{2a})}{c_{p,av}(T_1 - T_{2s})}$$

$$0.92 = \frac{950 - T_{2a}}{950 - 748} \rightarrow T_{2a} = 764 \text{ K}$$

(c) Havanın gerçek çıkış hızı, adyabatik lüle veriminin tanımından bulunur



$$\eta_N = \frac{V_{2a}^2}{V_{2s}^2} \rightarrow V_{2a} = \sqrt{\eta_N V_{2s}^2} = 639 \text{ m/s}$$