

TERSİNİR VE TERSİNMEZ HAL DEĞİŞİMLERİ

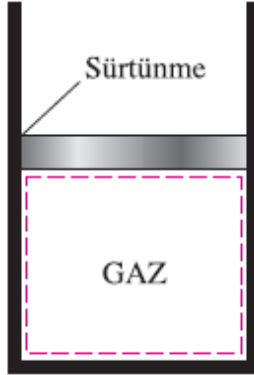
Tersinir hal değişimi: Çevrede herhangi bir iz bırakmadan tersi yönde gerçekleştirilebilen bir hal değişimi olarak tanımlanır.

Tersinmez hal değişimi: Tersinir olmayan hal değişimlerine denir.

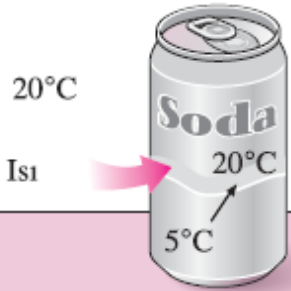
- Doğada tersinir hal değişimlerine rastlanmaz.
- *Neden tersinir hal değişimleriyle uğraşırız ?*
- İncelemek kolaydır
- Gerçek hal değişimlerinin karşılaştırılabileceği ideal modeller (kuramsal limitler) oluştururlar.
- Bazı hal değişimleri diğerlerine göre daha çok tersinmezdir.
- Tersinir hal değişimlerini tahmin etmeye çalışırız.

Tersinmezlikler

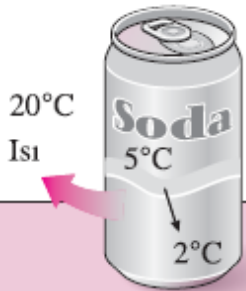
Sürtünme, bir hal değişimini tersinmez yapar.



Sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi tersinmezdir



(a) Tersinmez ısı geçişi

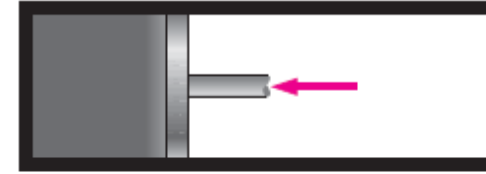


(b) Gerçekleşmesi olanaksız ısı geçişi

• Bir hal değişiminin tersinmez olmasına neden olan etkenlere **tersinmezlikler** adı verilir.

- Sürtünme,
- dengesiz genişleme,
- iki sıvının karışması,
- sonlu bir sıcaklık farkında ısı geçişi,
- elektrik direnci,
- katıların elastik olmayan şekil değişimleri ve
- kimyasal tepkimeler

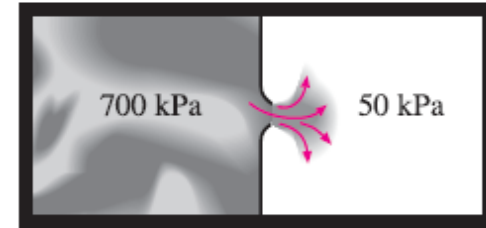
• Bu etkenlerden herhangi birinin varlığı, hal değişimini **tersinmez** yapar.



(a) Hızlı sıkıştırma

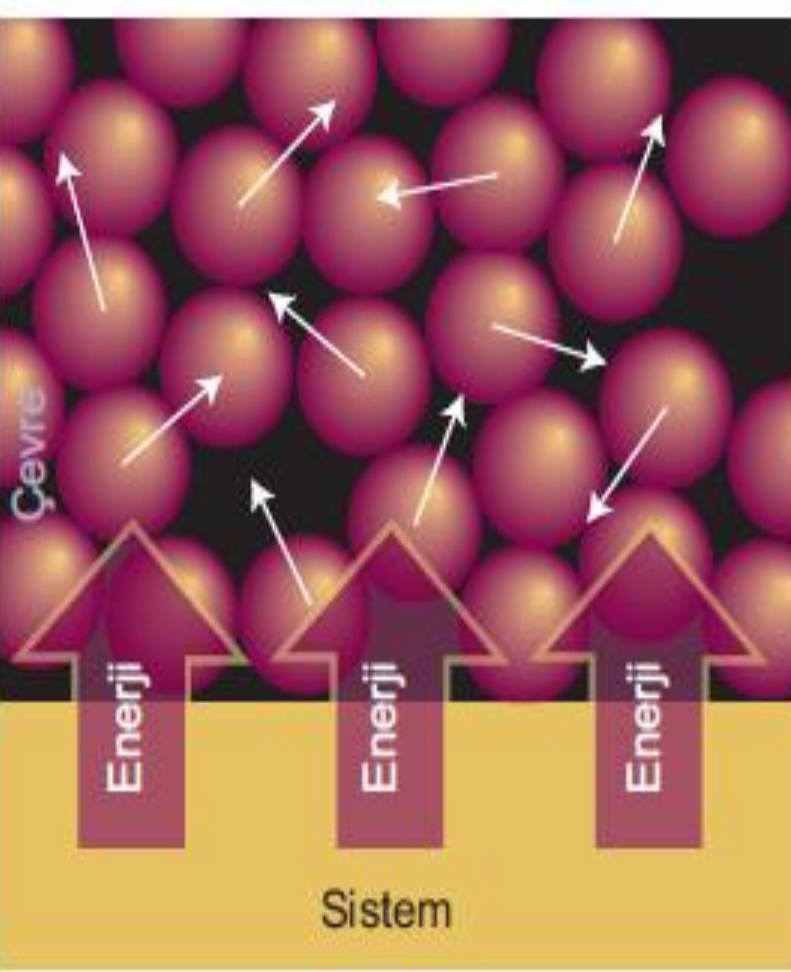


(b) Hızlı genişleme

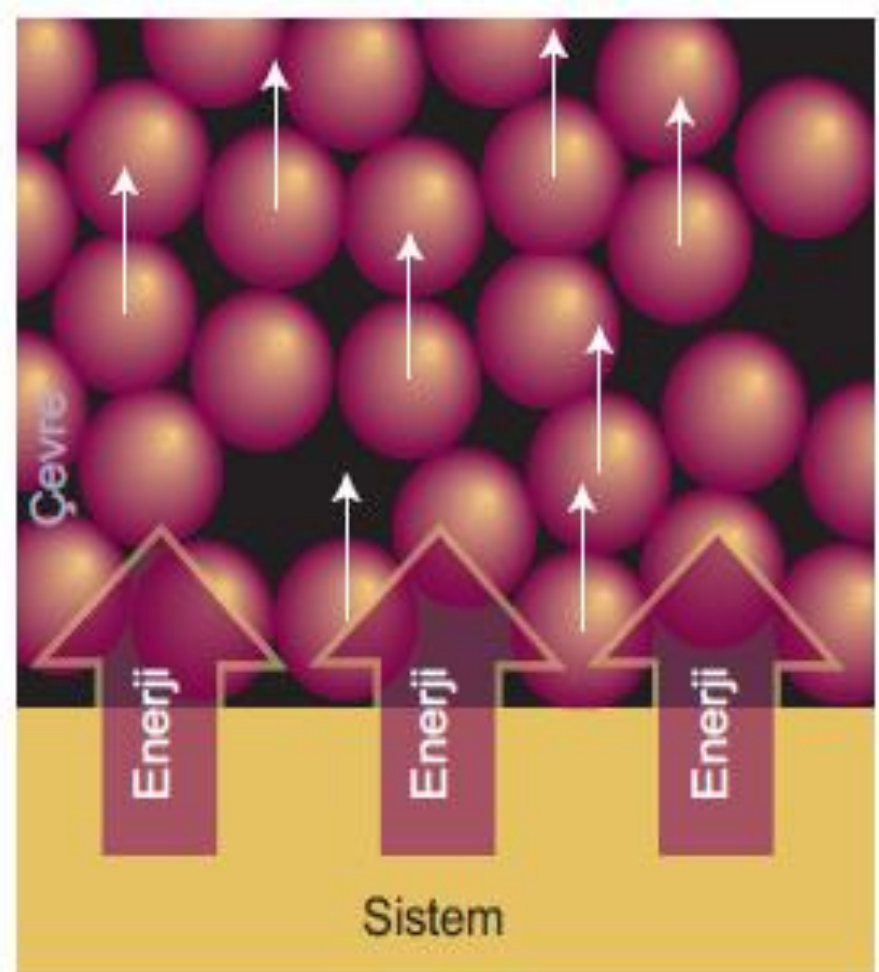


(c) Kontrolsüz genişleme

Tersinmez sıkıştırma ve genişleme işlemleri.



Şekil 2.3 Enerjinin ısı halinde çevreye akışı, çevredeki atomların düzensiz hareketlerini hızlandırır. Çevreden sisteme enerji akışı sırasında, çevredeki düzensiz hareketlerden (termal hareket) yararlanır.



Şekil 2.4 Sistem iş yaparken çevresindeki düzenli hareketlere katkıda bulunur. Örneğin, burada gösterilen atomlar yukarı kalkan bir yükün atomları olabilir. Yük, aşağı hareket ediyorsa, bu yük sisteme karşı iş yapıyor denir.

ENTROPİNİN ARTIŞI İLKESİ

Entropinin resmi tanımı

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

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

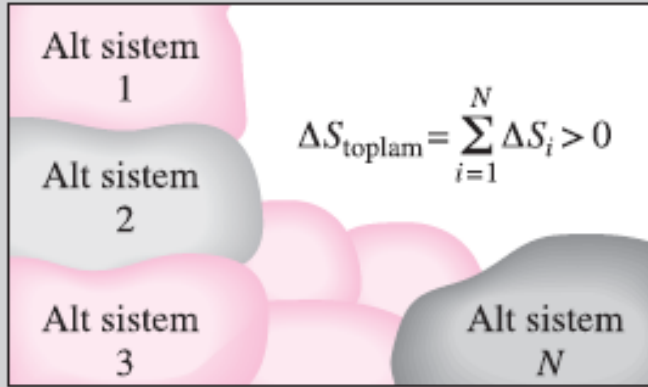
$$S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{sis}} + \Delta S_{\text{çevre}} \geq 0$$

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)



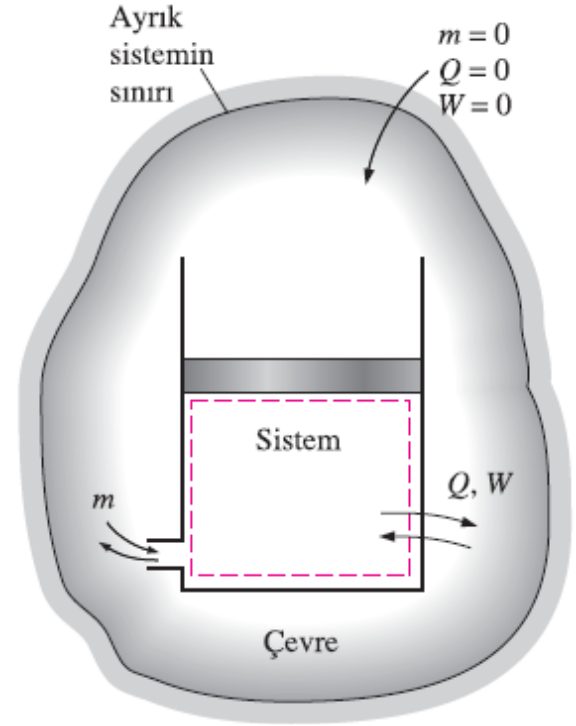
Ayrık bir sistemin entropi değişimi onun bileşenlerinin entropi değişimlerinin toplamıdır ve asla sıfırdan daha az olamaz.

$$\Delta S_{\text{ayrık}} \geq 0$$

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

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

Entropinin artışı ilkesi



Bir sistem ve onun çevresindekiler ayrık bir sistemi oluşturur.

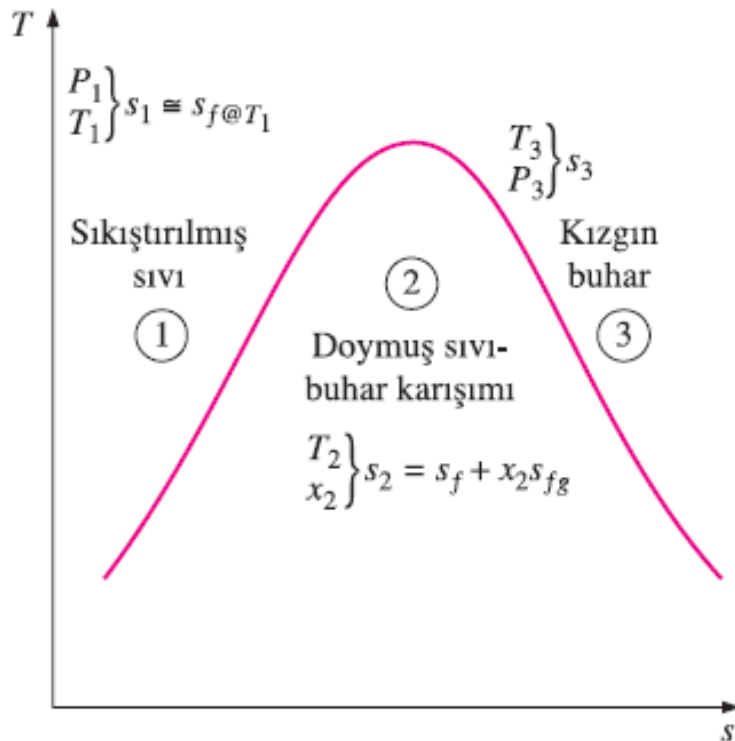
Entropi Üzerine Bazı Yorumlar

- *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.
- *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.
- *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.

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

SAF MADDELERİN ENTROPİ DEĞİŞİMİ

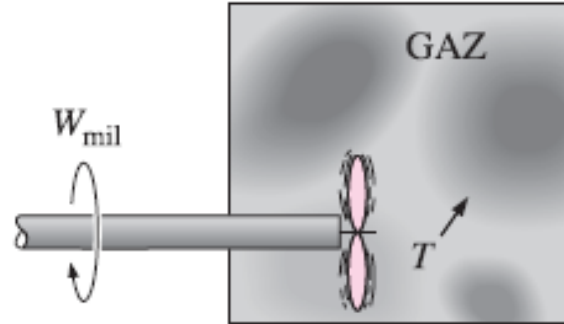
Entropi bir özelliktir ve bu nedenle bir sistemin entropisinin değeri, sistemin durumu sabit olduğunda sabittir.



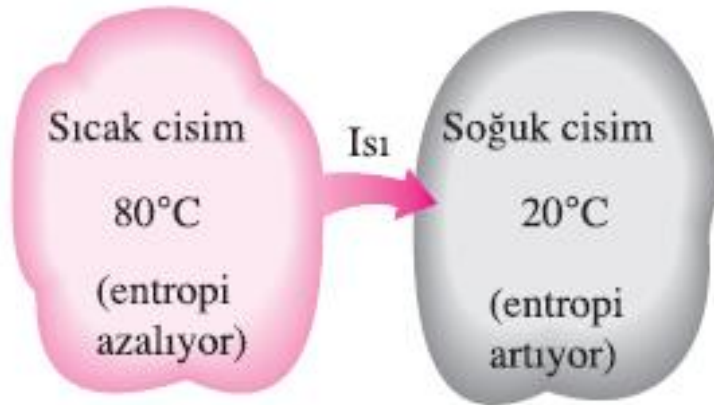
Entropi değişimi

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

Saf maddelerin entropileri tablolardan belirlenir (diğer özellikleri gibi).



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



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

SIVI VE KATILARIN ENTROPİ DEĞİŞİMİ

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

sıvı ve katılar için $dv \cong 0$ olduğundan

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

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

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

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

İDEAL 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

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

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

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

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

İG kanalından bir yayın

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

$$s_2 - s_1 = c_{p, \text{ort}} \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

Örnek 1

Bir piston silindir düzeneğinde **300 K sıcaklığında** doymuş sıvı –buhar su karışımı bulunmaktadır. Sabit basınçta suya **750 kJ** değerinde ısı geçişi olmaktadır. Sıvının bir kısmı buharlaşmaktadır. Bu hal değişimi için **suda** meydana gelen **entropi değişimini** bulunuz?

- Çözüm : $\Delta S_{su} = ? Q/T$
 - $\Delta S_{su} = + Q/T = 750/ 300 \text{ K} = 2.5 \text{ kJ/K}$
 - Suyun entropi değişimi pozitiftir.
 - Suyun entropisi ısı aldığı için artmıştır.

Örnek 2

800 K sıcaklığındaki bir ısı kaynağından; a) 500 K sıcaklığındaki, b) 750 K sıcaklığındaki ısı kuyusuna 2000 kJ değerinde ısı geçişi olmaktadır. Hangi ısı geçiş işlemi daha tersinmezdir.

Çözüm : a) $\Delta S_{\text{ısı kaynağı}} = ? \quad Q/T = - 2000/800 = - 2.5 \text{ kJ/ K}$

$\Delta S_{\text{ısı kuyusu}} = ? \quad Q/T = + 2000/500 = + 4.0 \text{ kJ/ K}$

$S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{ısı kaynağı}} + \Delta S_{\text{ısı kuyusu}} = -2.5 + 4.0 = +1.5 \text{ kJ/K}$

b) $\Delta S_{\text{ısı kaynağı}} = ? \quad Q/T = - 2000/800 = - 2.5 \text{ kJ/ K}$

$\Delta S_{\text{ısı kuyusu}} = ? \quad Q/T = 2000/750 = +2.7 \text{ kJ/ K}$

$S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{ısı kaynağı}} + \Delta S_{\text{ısı kuyusu}} = -2.5 + 2.7 = +0.2 \text{ kJ/K}$

a seçeneğinin daha da **tersinmez** olduğu anlaşılmaktadır.

Çünkü **üretilen entropi değeri, b ye göre daha fazladır.**

Örnek 3

Sabit hacimli kapalı bir kaptaki, başlangıçta 20 oC sıcaklık ve 140 kPa basınçta 5 kg soğutucu akışkan R-134a bulunmaktadır. Bu akışkanın basıncı 100 kPa oluncaya kadar soğutulmakta ve bir döner kanatla karıştırılmaktadır. Bu hal değişimi sırasında soğutucu akışkanda meydana gelen entropi değişimini bulunuz?

- **Çözüm :** $\Delta S_{R-134a} = m \cdot (s_2 - s_1)$

s_1 ve s_2 yi bulabilmek için öncelikle **başlangıçta ve son durumdaki faz durumlarının** ne olduğunu tespit etmemiz gerekir.

$P=140$ kPa ve $T=20$ oC olduğuna göre faz durumu nedir, önce onu bulalım:

$T=20$ oC için $P_{doyg.} = 572.07$ kPa dır. $140 \text{ kPa} < 572.07 \text{ kPa}$

$P=140$ kPa için $T_{doyg} = -18.77$ oC $20 \text{ oC} > -18.77 \text{ oC}$

- **Kızgın buhar**
- **A13 tablosundan;** $s_1 = 1.0624$ kJ/kgK ; $v_1 = 0.16544$ m³ / kg okunur.

Örnek 3 (devam)

- Son durumda $v_2 = v_1 = 0.16544 \text{ m}^3/\text{kg}$ olur.
 - Çünkü ne kütlede ne de hacimde proses boyunca değişim olmamaktadır.
 - $P = 100 \text{ kPa}$ için $v_f = 0.0007259 \text{ m}^3/\text{kg}$; $v_g = 0.19254 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $0.0007259 < 0.16544 < 0.19254$ old. göre;
 - Doygun sıvı buhar karışımı haline gelmiştir.
 - $S_2 = s_f + x \cdot s_{fg}$ $X = ?$ $X = f(u, h, s, v)$
 - $X = (0.16544 - 0.0007259) / (0.19254 - 0.0007259) = 0.858$
 - $S_2 = s_f + x \cdot s_{fg}$ ise ; $s_2 = 0.07188 + 0.858 \cdot 0.87995 = 0.8268 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$
-
- $\Delta S_{\text{R-134a}} = m \cdot (s_2 - s_1) = 5 \text{ kg} (0.8268 - 1.0624) \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} = -1.1776 \text{ kJ/K}$
 - R-134a soğuduğu için entropisi azalmıştır.

Örnek 4

Bir piston silindir sisteminde 250 kPa ve 130 oC de bulunan **su**, doygun sıvı olarak bulunmaktadır. 600 oC lik bir ortamdan silindire 500 kJ ısı verilerek suyun bir kısmı buharlaştırılmaktadır.

a) Suyun entropisindeki değişimi bul? b) Çevrenin entropisindeki değişimi bul? c) Bu işlemin tersinir mi, tersinmez mi ve mümkün olup olamayacağını söyleyiniz?

Çözüm : a) $\Delta S_{su} = ? \quad Q/T = + 500 / 403 \text{ K} = 1.24 \text{ kJ / kgK}$

b) $\Delta S_{çevre} = ? \quad Q/T = - 500 / 873 \text{ K} = - 0.5727 \text{ kJ / kgK}$

c) $S \text{ üretim} = \Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{çevre}}$

$S \text{ üretim} = 1.24 + (-0.5727) = 0.6672 \text{ kJ/kgK}$

$S \text{ üretim} = 0.6672 > 0$ olduğuna göre; tersinmez bir işlemdir.

- Yani mümkündür.

Örnek 5

0.6 m³ hacminde kapalı bir tank içinde 320 kPa basınçta ve x=0.5 kuruluk derecesine sahip freon-12 soğutucu akışkan bulunmaktadır. 40 oC de bulunan bir ortamdan soğutucu akışkana basıncı 500 kPa oluncaya kadar ısı transfer edilmiştir.

A) Soğutucu akışkandaki entropi değişimini bul?

B) Çevrenin entropi değişimini bul?

C) Toplam entropi değişimini bul?

Çözüm : $\Delta S_{\text{freon-12}} = m.(s_2 - s_1)$

Öncelikle başlangıç (ilk) durumu için s₁ ve v₁ değerlerini bulalım:

P₁=320 kPa basınçta ve x₁=0.5 $v_1 = v_f + x.v_{fg}$

v₁ = 0.02711385 m³/kg olarak hesaplanır.

m = V/v₁ = 0.6 m³ / 0.02711385 m³/kg = 22.13 kg

U₁ = u_f + x.u_{fg} den; u₁ = 103.865 kJ/kg olarak hesaplanır.

S₁ = s_f + x.s_{fg} den ; s₁ = 0.42085 kJ/kgK olarak hesaplanır.

Örnek 5 (devam)

2. Durum : $P_2 = 0.5 \text{ MPa}$,

$v_1 = v_2$ (Kapalı sistem, kütle ve hacim değişmiyor)

$x_2 = (0.027114 - 0.0007438) / (0.03482 - 0.0007438) = 0.7739$ olarak hesaplanır.

$U_2 = u_f + x_2 \cdot u_{fg}$; $s_2 = s_f + x_2 \cdot s_{fg}$ ile hesaplanır.

$U_2 = 148.05 \text{ kJ/kg}$; $s_2 = 0.5777 \text{ kJ/kgK}$ olarak hesaplanır.

a) $\Delta S_{\text{freon-12}} = m \cdot (s_2 - s_1) = 22.13 \text{ kg} (0.5777 - 0.42085) \text{ kJ/kgK} = 3.47 \text{ kJ/K}$

b) $\Delta S_{\text{çevre}} = ? \text{ Q/T}$ $Q=?$

Q'yu bulmak için kapalı sisteme T1Y yazalım

$E_g - E_{ç} = \Delta U$ ise , $Q = m(U_2 - U_1)$ olacaktır.

$Q = 22.13 \text{ kg} (148.05 - 103.865) \text{ kJ/kg} = 977.84 \text{ kJ}$

$\Delta S_{\text{çevre}} = ? \text{ Q/T} = -977.84 / (40 + 273) = -3.124 \text{ kJ/K}$

c) $\Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{freon-12}} + \Delta S_{\text{çevre}} = 3.47 + (-3.124) = 0.3459 \text{ kJ/K} > 0$

Tersinmezdir, bu olayın olması mümkündür.

Örnek 6

Sabit hacimli kapalı bir kap bir perde ile eşit 2 bölmeye ayrılmıştır. Başlangıçta bölmelerin birinde 300 kPa basınçta ve 60 oC sıcaklığında 1.5 kg doymuş sıvı su bulunmaktadır. Diğer bölme ise vakumdur. Perde kaldırıldığında tüm kap su ile dolmakta ve basınç 15 kPa olmaktadır. Buna göre suyun entropisinde meydana gelen entropi değişimini bulunuz?

Çözüm:

$$v_1 = v_f = 0.001017 \text{ m}^3/\text{kg} ; \quad s_1 = s_f = 0.8313 \text{ kJ/kgK (A4)}$$

$$V_1 = m \cdot v_1 = 1.5 \text{ kg} \cdot 0.001017 \text{ m}^3/\text{kg} = 0.001525 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{son}} = V_2 = 2 \cdot V_1 = 2 \cdot 0.001525 = 0.003051 \text{ m}^3$$

$$v_2 = 0.003051 / 1.5 = 0.002034 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Örnek 6 (devam)

$P_2=15 \text{ kPa}$ ise; $v_f=0.001014$; $v_g= 10.02 \text{ m}^3/\text{kg}$

$$0.001014 < 0.002034 < 10.02$$

Doygun sıvı-buhar karışımı haline gelmiştir.

$$S_2=s_f + x.s_{fg} \quad ;$$

$$x = (0.002034 - 0.001014) / (10.02 - 0.001014) = 0.0001018$$

$$S_2= 0.7556 \text{ kJ/kgK} \text{ olacaktır.}$$

$$\Delta S_{su} = S_2-S_1 = m.(s_2-s_1) = 1.5 \text{ kg} * (0.7556 - 0.8312) = - 0.1134 \text{ kJ/kgK}$$

DİKKAT: Direkt olarak belirtilen herhangi bir ısı alış-verişi olmadan da entropi değişimi söz konusu olmaktadır. Perdenin kaldırılması genişleme olayının olmasına ve buna karışımın meydana gelmesine sebep olmuştur ki, 2 akışkanın karışması da entropi değişimi meydana getirmiştir.

ÖDEV ÇÖZÜMÜ

0.5 m³ hacminde kapalı bir tank içerisinde 200 kPa basınçta ve $x=0.4$ kuruluk derecesinde **R-134a** soğutucu akışkan bulunmaktadır. 35 oClik bir ortamdan soğutucu akışkana basıncı 400 kPa oluncaya kadar ısı transfer edilmiştir.

- a) Soğutucu akışkanın entropisindeki değişimi bul?
- b) Ortamın entropisindeki değişimi bul?
- c) Bu işlem boyunca toplam entropide meydana gelen değişimi bulunuz?
- d) Bu işlemin tersinirmi, tersinmez mi ve mümkün olup olamayacağını söyleyiniz?

Çözüm : $\Delta S_{R-134a} = m.(s_2 - s_1)$

Öncelikle başlangıç (ilk) durumu için s_1 ve v_1 değerlerini bulalım:

200 kPa basınçta $v_f = 0.0007533 \text{ m}^3/\text{kg}$, $v_g = 0.099867 \text{ m}^3/\text{kg}$; (A12)

$$v_1 = v_f + x.v_{fg}$$

$$v_1 = 0.0007533 + 0.4 \cdot (0.099867 - 0.0007533) = 0.040398 \text{ m}^3/\text{kg}$$

200 kPa basınçta $s_f = 0.15457 \text{ kJ/kgK}$, $s_{fg} = 0.78316 \text{ kJ/kgK}$; (A12)

$$s_1 = s_f + x.s_{fg}$$

$$s_1 = 0.15457 + 0.4 \cdot 0.78316 = 0.467834 \text{ kJ/kgK}$$

200 kPa basınçta $u_f = 38.28 \text{ kJ/kg}$, $u_{fg} = 186.21 \text{ kJ/kg}$; (A12)

$$u_1 = u_f + x \cdot u_{fg}$$

$$u_1 = 38.28 + 0.4 \cdot 186.21 = 112.764 \text{ kJ/kg}$$

$$m = V/v_1 = 0.5 / 0.040398 = 12.376 \text{ kg}$$

Son durumda $v_2 = v_1 = 0.040398 \text{ m}^3/\text{kg}$

$P_2 = 400 \text{ kPa}$ için ; $v_f = 0.0007907 \text{ m}^3/\text{kg}$; $v_g = 0.051201 \text{ m}^3/\text{kg}$ (A12)

$$0.0007907 < 0.040398 < 0.051201 \text{ old. göre;}$$

Hala doymuş sıvı buhar karışımı halindedir.

- $X_2 = (0.040398 - 0.0007907) / (0.051201 - 0.0007907) = 0.7857$
 - $P_2 = 400 \text{ kPa}$ $u_f = 63.62 \text{ kJ/kg}$; $u_{fg} = 171.45 \text{ kJ/kg}$
 $s_f = 0.24761 \text{ kJ/kgK}$; $s_{fg} = 0.67929 \text{ kJ/kgK}$
 - $U_2 = 63.62 + 0.7857 * 171.45 = 198.328 \text{ kJ/kg}$
 - $S_2 = 0.24761 + 0.7857 * 0.67929 = 0.7813 \text{ kJ/kgK}$
- a) $\Delta S_{R-134a} = m.(s_2 - s_1) = 12.376 * (0.7813 - 0.4678) = 3.879 \text{ kJ/kgK}$

b) $\Delta S_{\text{çevre}} = Q/T$ $Q=?$ (Termodinamiğin 1. yasası)

$$E_g - E_{\dot{c}} = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad \text{ise ;}$$

$$Q = m^*(u_2 - u_1)$$

$$Q = 12.376 * (198.328 - 112.764) = 1058.94 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta S_{\text{çevre}} = ? \quad Q/T = -1058.94 / 308 \text{ K} = -3.438 \text{ kJ/kgK}$$

$$\text{c) } S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{R-134a} + \Delta S_{\text{çevre}}$$

$$S_{\text{üretim}} = 3.879 + (-3.438) = 0.441 \text{ kJ/kgK}$$

d) $S_{\text{üretim}} = 0.441 > 0$ olduğuna göre; tersinmez bir işlemdir. Yani mümkündür.

AÇIK SİSTEMLER İÇİN ENTROPİ

Bir bina kış şartlarında 21 oC'de sabit tutulmak isteniyor. Bu amaçla merkezi ısıtma sistemi kullanılıyor. Bina içindeki radyatörlere dakikada 5 kg debi ile giren su başlangıçta 90 oC de doygun sıvı iken son durumda 70 oC'de doygun sıvı haline düşmektedir. Buna göre ; a) Suyun entropisindeki değişimi bul? b) Binanın (ortamın) entropisindeki değişimi bul? c) Bu işlem boyunca toplam entropide meydana gelen değişimi bulunuz? d) Bu işlemin entropi artış prensibine uyup uymadığını belirleyiniz?

$$T=90 \text{ oC için: } h_1=h_f= 377.04 \text{ kJ/kg ; } s_1=s_f= 1.1929 \text{ kJ/kgK}$$

$$T=70 \text{ oC için: } h_2=h_f = 293.07 \text{ kJ/kg; } s_2=s_f= 0.9551 \text{ kJ/kgK}$$

$$\dot{m}= 5\text{kg/dk} * 1\text{dk}/60\text{s} = 0.083 \text{ kg/s}$$

$$\Delta S_{su} = \dot{m} \cdot (s_2 - s_1) = 0.083 * (0.9551 - 1.1929) = - 0.0198 \text{ kW/K}$$

$\Delta S_{\text{çevre}} = Q/T$ $Q=?$ (Termodinamiğin 1. yasası)
(zamanla değişmeyen sürekli açık sistemler için)

$$Q_g + W_g + \dot{m}(h_g + V_g^2/2 + gz_g) = Q_{\dot{c}} + W_{\dot{c}} + \dot{m}(h_{\dot{c}} + V_{\dot{c}}^2/2 + gz_{\dot{c}})$$

Uygun ihmalleri yapıncaya; $\dot{m}h_g = Q_{\dot{c}} + \dot{m}h_{\dot{c}}$

$$Q_{\dot{c}} = \dot{m}(h_g - h_{\dot{c}}) = 0.083 \cdot (377.04 - 293.07) = 6.99 \text{ kW}$$

$$\Delta S_{\text{çevre}} = ? \quad Q/T = 6.99 / 294 = 0.0238 \text{ kW/K}$$

$$S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{toplama}} = \Delta S_{\text{su}} + \Delta S_{\text{çevre}}$$

$$S_{\text{üretim}} = -0.0198 + 0.0238 = 0.0037 \text{ kW/K}$$

$S_{\text{üretim}} = 0.0037 > 0$ olduğuna göre; tersinmez bir işlemdir. Yani mümkündür.

Örnek

Bir araştırmacı bir test odasının sıcaklığını 50 oC'de tutmak için içerisinde **saatte 10 kg su buharı** geçen bir serpantin (plakalı ısı değiştirici) kullanmaktadır. Su buharı serpantine 200 kPa basınçta **doygun buhar** olarak girmekte ve serpantinden **doymuş sıvı** olarak çıkmaktadır. Buna göre;

- a) Test odasına olan ısı transfer miktarını bul?
- b) Su buharının entropisinde meydana gelen değişimi bul?
- c) Test odasının entropisinde meydana gelen değişimi bul?
- d) Toplam entropi değişimini bul?

Çözüm:

$$P1=200 \text{ kPa}; \quad \dot{m}=10 \text{ kg/h} * 1\text{h}/3600 \text{ s} = 0.002778 \text{ kg/s}$$

P2=200 kpa doymuş sıvı

Serpantin zamanla değişmeyen sürekli akışlı sistemdir.

$$Q_g + W_g + \dot{m}(h_g + V_g^2/2 + gz_g) = Q_{\dot{c}} + W_{\dot{c}} + \dot{m}(h_{\dot{c}} + V_{\dot{c}}^2/2 + gz_{\dot{c}})$$

Uygun ihmalleri yapıncı; $\dot{m}h_g = Q_{\dot{c}} + \dot{m}h_c$

$P_1 = 200 \text{ kPa}$ için doygun buhar $h_g = h_g = 2706.3 \text{ kJ/kg}$; $s_1 = s_g = 7.1270 \text{ kJ/kgK}$

$P_2 = 200 \text{ kPa}$ için doygun sıvı $h_c = h_f = 504.71 \text{ kJ/kg}$; $s_2 = s_f = 1.5302 \text{ kJ/kgK}$

$$Q_{\dot{c}} = \dot{m}(h_g - h_c) = 0.002778 \text{ kg/s} * (2706.3 - 504.71) \text{ kJ/kg} = 6.12 \text{ kJ/s} = 6.12 \text{ kW}$$

$$b) \Delta S_{su} = \dot{m}(s_2 - s_1) = 0.002778 \text{ kg/s} * (1.5302 - 7.127) = -0.015623 \text{ kW/K}$$

$$c) \Delta S_{\text{çevre}} = ? \quad Q/T = 6.12 / (50 + 273) = 0.018935 \text{ kW/K}$$

$$d) \Delta S_{\text{toplaml}} = \Delta S_{su} + \Delta S_{\text{çevre}} = -0.015623 + 0.018935 = 0.003312 \text{ kW/K} > 0$$

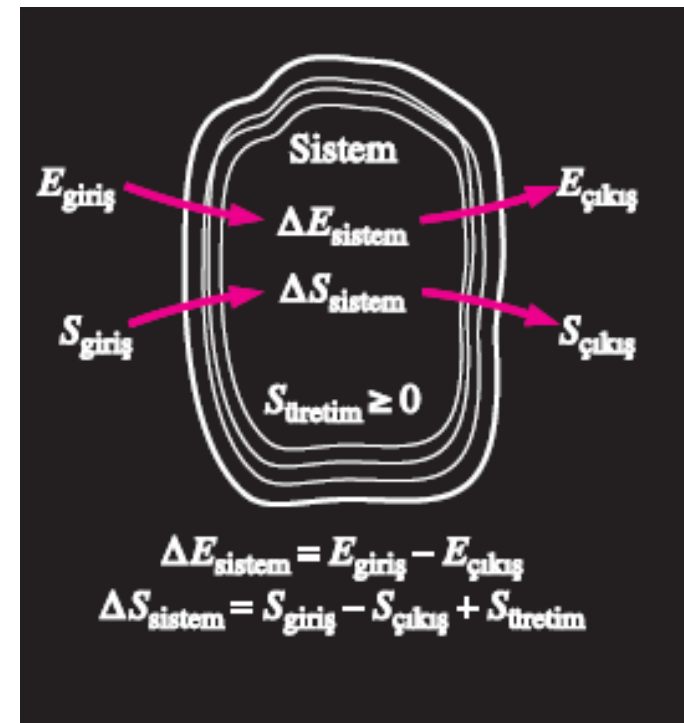
ENTROPİ DENGESİ

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

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

Bir sistemin entropi değişimi, ΔS_{system}

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



Bir sistem için enerji ve entropi dengeleri

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

1 Isı Geçışı

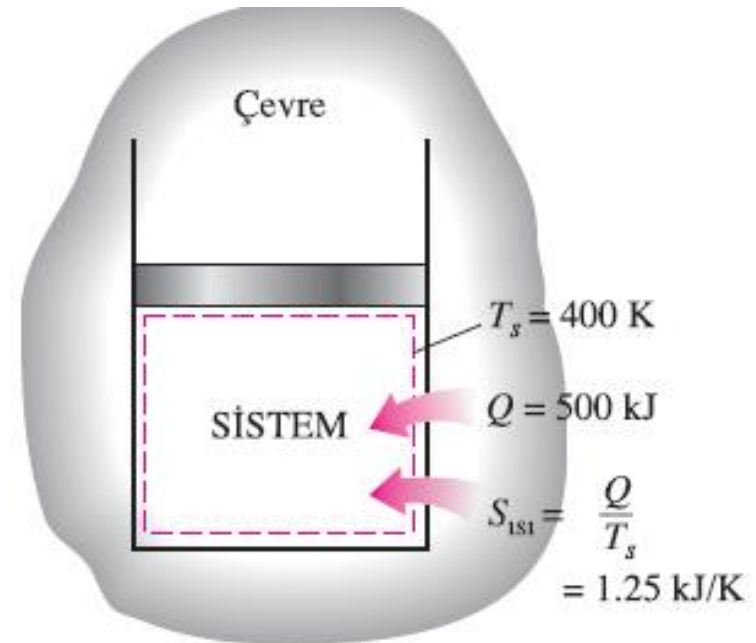
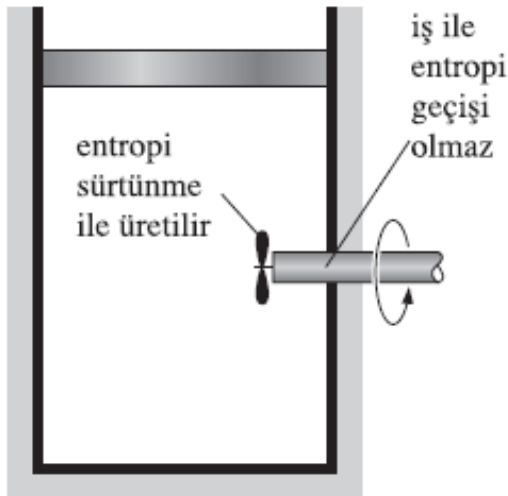
Isı geçişi tarafından entropi geçişi:

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

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

İş tarafından entropi geçişi:

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



Q Isı geçişine daima Q/T miktarında entropi eşlik eder.

İş sistem sınırlarından geçerken entropi eşlik etmez. Fakat sistem içinde entropi üretilebilir.

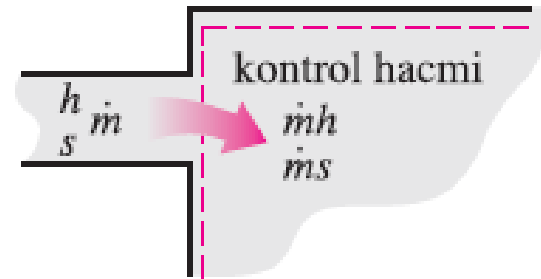
Entropi Geçişinin Mekanizmaları, S_{in} ve S_{out}

2 Kütle Akışı

Kütle tarafından entropi geçişi:

$$S_{k\ddot{u}tle} = \dot{m}S$$

Hal değişimi esnasında
kütlenin özeliği değiştiğinde,



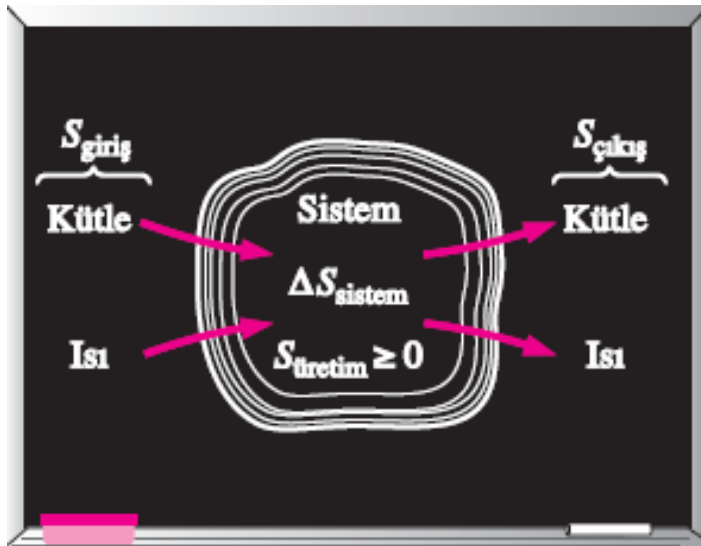
Kütle, enerji olduğu kadar entropi de içerir, ve böylece sisteme yada sistemden kütle akışına enerji ve entropi geçişi tarafından eşlik edilir.

Entropi Üretimi, $S_{\text{üretim}}$

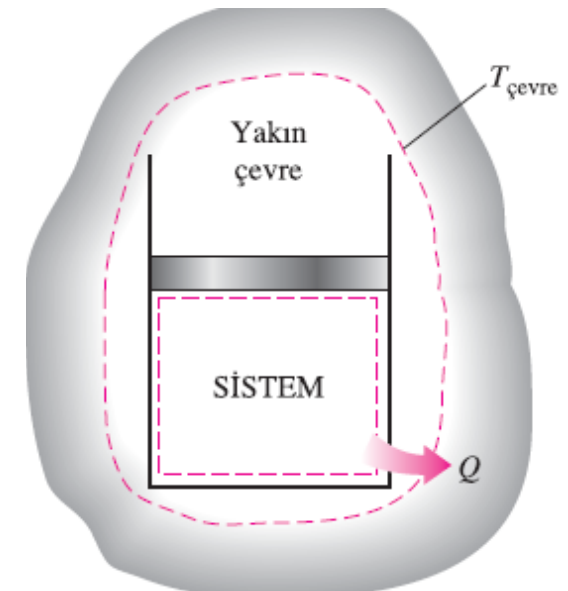
$$\underbrace{S_g - S_{\varphi}}_{\text{Isı ve kütle ile gerçekleşen net entropi geçişi}} + \underbrace{S_{\text{üret}}}_{\text{Entropi üretim}} = \underbrace{\Delta S_{\text{sistem}}}_{\text{Entropideki değişim}}$$

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

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



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

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

Açık Sistemler (Kontrol Hacimleri)

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

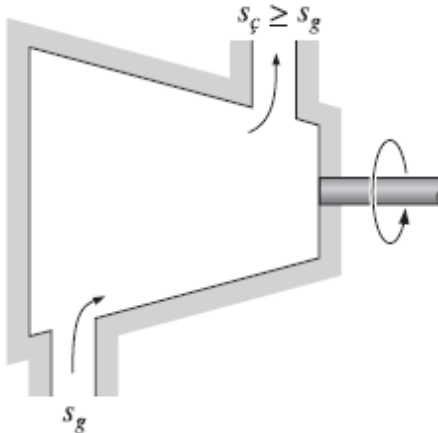
$$\sum \frac{Q_k}{T_k} + \sum \dot{m}_g s_g - \sum \dot{m}_\varphi s_\varphi + \dot{S}_{\text{üretim}} = dS_{\text{CV}}/dt \quad (\text{kW/K})$$

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

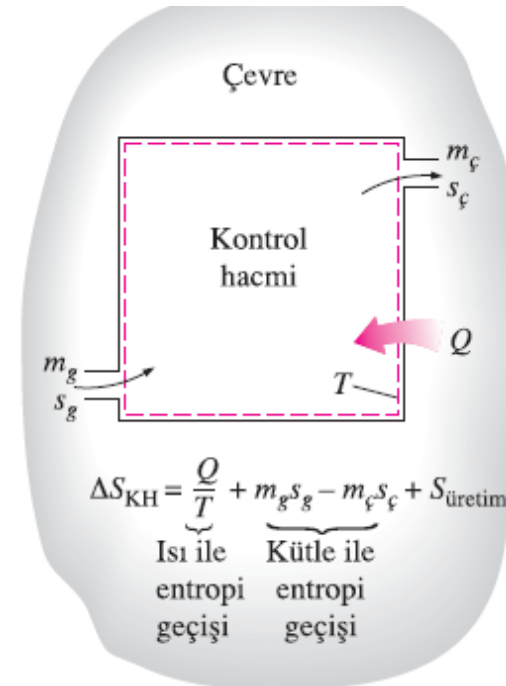
Sürekli akım; tek akış: $\dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{m}(s_\varphi - s_g) - \sum \frac{\dot{Q}_k}{T_k}$

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).



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

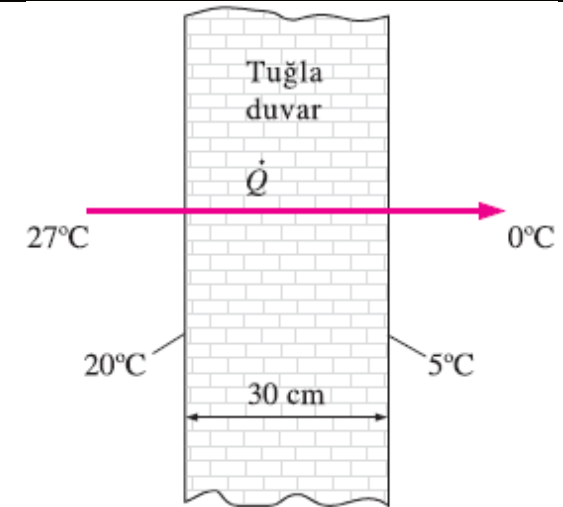
Bir kontrol hacminin entropi değişimi ısı transferi kadar kütle akışının da bir sonucudur.

ÖRNEKLER

Bir duvar boyunca ısı transferi için entropi dengesi

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

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

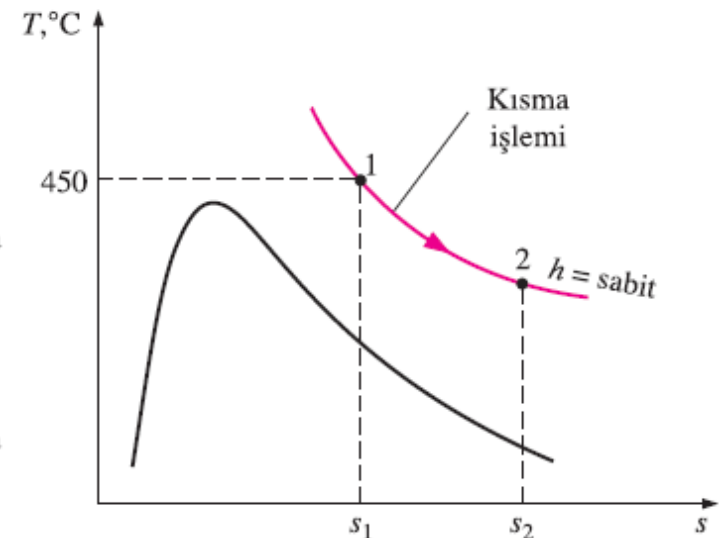
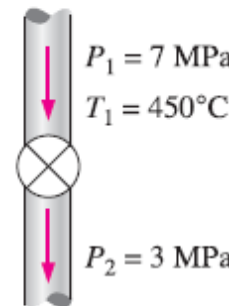


Bir kısılma işlemi için entropi dengesi

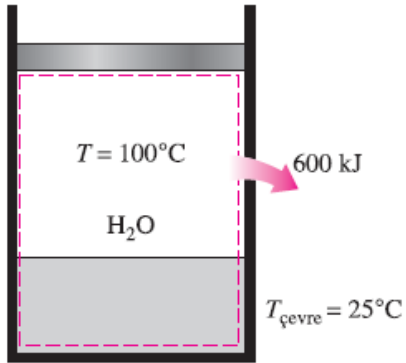
$$\underbrace{\dot{S}_g - \dot{S}_\varphi}_{\text{Birim zamanda ısı ve kütile ile gerçekleşen entropi geçişi}} + \underbrace{\dot{S}_{\text{üretim}}}_{\text{Birim zamandaki entropi üretimi}} = \underbrace{\frac{dS_{\text{sistem}}}{dt}}_{\text{Birim zamanda entropideki değişim}} \xrightarrow{0 \text{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

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

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

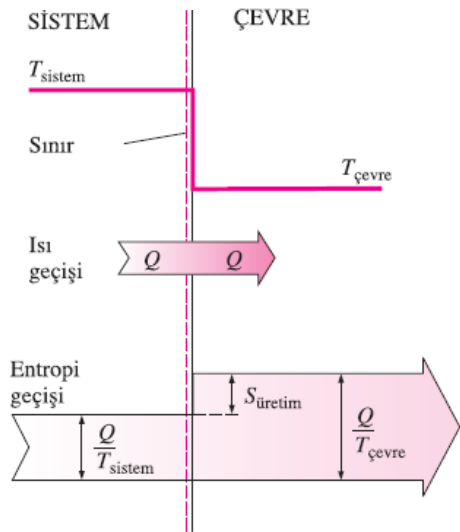


Isı Geçişi ile Birlikte Gerçekleşen Entropi Üretimi

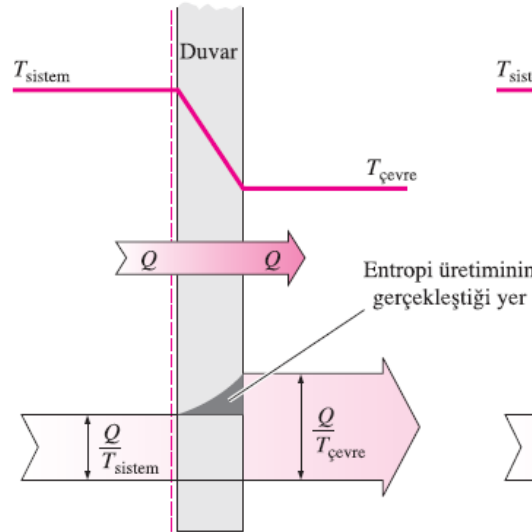


$$\underbrace{S_g - S_{\text{ç}}}_{\text{Isı ve kütle ile gerçekleşen enerji geçişi}} + \underbrace{S_{\text{üret}}}_{\text{Entropi üretimi}} = \underbrace{\Delta S_{\text{sistem}}}_{\text{Entropideki değişim}}$$

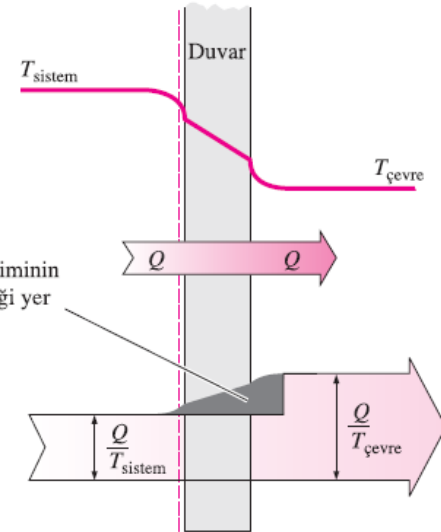
$$-\frac{Q_{\text{ç}}}{T_b} + S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{üretim}}$$



(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

Örnek 1

0.6 m³ hacminde kapalı bir tank içinde 320 kPa basınçta ve x=0.5 kuruluk derecesine sahip freon-12 soğutucu akışkan bulunmaktadır. 40 oC de bulunan bir ortamdan soğutucu akışkana basıncı 500 kPa oluncaya kadar ısı transfer edilmiştir.

A) Soğutucu akışkandaki entropi değişimini bul?

B) Ortamın (Çevrenin entropi değişimini bul?

C) Toplam entropi değişimini bul?

Çözüm : $\Delta S_{\text{freon-12}} = m.(s_2 - s_1)$

Öncelikle başlangıç (ilk) durumu için s₁ ve v₁ değerlerini bulalım:

P₁=320 kPa basınçta ve x₁=0.5 $v_1 = v_f + x.v_{fg}$

v₁ = 0.02711385 m³/kg olarak hesaplanır.

m = V/v₁ = 0.6 m³ / 0.02711385 m³/kg = 22.13 kg

U₁ = u_f + x.u_{fg} den; u₁ = 103.865 kJ/kg olarak hesaplanır.

S₁ = s_f + x.s_{fg} den ; s₁ = 0.42085 kJ/kgK olarak hesaplanır.

Örnek 1 (devam)

2. Durum : $P_2 = 0.5 \text{ MPa}$,

$v_1 = v_2$ (Kapalı sistem, kütle ve hacim değişmiyor)

$x_2 = (0.027114 - 0.0007438) / (0.03482 - 0.0007438) = 0.7739$ olarak hesaplanır.

$U_2 = u_f + x_2 \cdot u_{fg}$; $s_2 = s_f + x_2 \cdot s_{fg}$ ile hesaplanır.

$U_2 = 148.05 \text{ kJ/kg}$; $s_2 = 0.5777 \text{ kJ/kgK}$ olarak hesaplanır.

a) $\Delta S_{\text{freon-12}} = m \cdot (s_2 - s_1) = 22.13 \text{ kg} (0.5777 - 0.42085) \text{ kJ/kgK} = 3.47 \text{ kJ/K}$

b) $\Delta S_{\text{çevre}} = Q/T$ **$Q=?$**

Q 'yu bulmak için kapalı sisteme **$T_1 Y$** yazalım

$E_g - E_{\text{ç}} = \Delta U$ ise , $Q = m(U_2 - U_1)$ olacaktır.

$Q = 22.13 \text{ kg} (148.05 - 103.865) \text{ kJ/kg} = 977.84 \text{ kJ}$

$\Delta S_{\text{çevre}} = Q/T = 977.84 / (40 + 273) = -3.124 \text{ kJ/K}$

c) $\Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{freon-12}} + \Delta S_{\text{çevre}} = 3.47 + (-3.124) = 0.3459 \text{ kJ/K} > 0$

Tersinmezdir, bu olayın olması mümkündür.

Örnek 2

Sabit hacimli kapalı bir kap bir perde ile eşit 2 bölmeye ayrılmıştır. Başlangıçta bölmelerin birinde 300 kPa basınçta ve 60 oC sıcaklığında 1.5 kg doymuş sıvı su bulunmaktadır. Diğer bölme ise vakumdur. Perde kaldırıldığında tüm kap su ile dolmakta ve basınç 15 kPa olmaktadır. Buna göre suyun entropisinde meydana gelen entropi değişimini bulunuz?

Çözüm:

$$v_1 = v_f = 0.001017 \text{ m}^3/\text{kg} ; \quad s_1 = s_f = 0.8312 \text{ kJ/kgK}$$

$$V_1 = m \cdot v_1 = 1.5 \text{ kg} \cdot 0.001017 \text{ m}^3/\text{kg} = 0.001525 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{son}} = V_2 = 2 \cdot V_1 = 2 \cdot 0.001525 = 0.003051 \text{ m}^3$$

$$v_2 = 0.003051 / 1.5 = 0.002034 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Örnek 2 (devam)

$P_2=15 \text{ kPa}$ ise; $v_f=0.001014$; $v_g= 10.02 \text{ m}^3/\text{kg}$

$$0.001014 < 0.002034 < 10.02$$

Doygun sıvı-buhar karışımı haline gelmiştir.

$$S_2=s_f + x.s_{fg} \quad ; \quad x = (0.002034 - 0.001014) / (10.02 - 0.001014) = 0.0001018$$

$S_2= 0.7556 \text{ kJ/kgK}$ olacaktır.

$$\Delta S_{su} = S_2-S_1 = m.(s_2-s_1) = 1.5 \text{ kg} * (0.7556 - 0.8312) = -0.1134 \text{ kJ/kgK}$$

Örnek 3

Bir araştırmacı bir test odasının sıcaklığını 50 oC'de tutmak için içerisinden saatte 10 kg su buharı geçen bir serpantin (plakalı ısı değiştirici) kullanmaktadır. Su buharı serpantine 200 kPa basınçta doymuş buhar olarak girmekte ve serpantinden doymuş sıvı olarak çıkmaktadır. Buna göre;

- a) Test odasına olan ısı transfer miktarını bul?
- b) Su buharının entropisinde meydana gelen değişimi bul?
- c) Test odasının entropisinde meydana gelen değişimi bul?
- d) Toplam entropi değişimini bul?

Çözüm:

$$P_1 = 200 \text{ kPa}; \quad m = 10 \text{ kg/h} \cdot 1 \text{ h} / 3600 \text{ s} = 0.002778 \text{ kg/s}$$

P₂ = 200 kPa doymuş sıvı

Serpantin zamanla değişmeyen sürekli akışlı sistemdir.

$$Q_g + W_g + m(h_g + V_g^2/2 + gz_g) = Q_{\dot{c}} + W_{\dot{c}} + m(h_{\dot{c}} + V_{\dot{c}}^2/2 + gz_{\dot{c}})$$

Örnek 3 (devam)

Uygun ihmaller yapılnca; $m h_g = Q_{\dot{c}} + m h_{\dot{c}}$

$P_1 = 200 \text{ kPa}$ için doygun buhar $h_g = h_g = 2706.3 \text{ kJ/kg}$; $s_1 = s_g = 7.1270 \text{ kJ/kgK}$

$P_2 = 200 \text{ kPa}$ için doygun sıvı $h_{\dot{c}} = h_f = 504.71 \text{ kJ/kg}$; $s_2 = s_f = 1.5302 \text{ kJ/kgK}$

$$Q_{\dot{c}} = m(h_{\dot{c}} - h_g) = 0.002778 \text{ kg/s} * (504.71 - 2706.3) \text{ kJ/kg} = 6.12 \text{ kJ/s} = 6.12 \text{ kW}$$

$$b) \Delta S_{su} = m(s_2 - s_1) = 0.002778 \text{ kg/s} * (1.5302 - 7.127) = -0.015623 \text{ kW/K}$$

$$c) \Delta S_{\text{çevre}} = Q/T = 6.12 / (50 + 273) = 0.018935 \text{ kW/K}$$

$$d) \Delta S_{\text{toplaml}} = \Delta S_{su} + \Delta S_{\text{çevre}} = -0.015623 + 0.018935 = 0.003312 \text{ kW/K} > 0$$

Örnek 4

Bir ısı değiştiricisine 1 MPa basınçta doymuş buhar olarak saatte 10 kg su buharı girmekte ve çevre havaya ısı vererek yine 1 MPa basınçta doymuş sıvı olarak çıkmaktadır. Buna göre;

- a) Birim zamanda suyun entropisinde meydana gelen değişimi bul?
- b) Çevre sıcaklığı 23 °C olduğuna göre çevre havasında meydana gelen entropi değişimini bul?
- c) Toplam entropi değişimini bul?

Çözüm: $P_1 = 1 \text{ MPa}$ doymuş buhar ; $h_1 = h_g = 2777.1 \text{ kJ/kg}$; $s_1 = s_g = 6.5850 \text{ kJ/kgK}$
 $P_2 = 1 \text{ MPa}$; doymuş sıvı ; $h_2 = h_f = 762.51 \text{ kJ/kg}$; $s_2 = s_f = 2.1381 \text{ kJ/kgK}$

a) $\Delta S_{\text{su}} = m(s_2 - s_1) = 10 \text{ kg/h} \cdot 1 \text{ h} / 3600 \text{ s} (2.1381 - 6.5850) = -0.0123 \text{ kW/K}$

b) $\Delta S_{\text{çevre}} = Q/T$ ise; $Q = ?$ **Serpantin zamanla değişmeyen sürekli akışlı sistemdir.**

$T_1 Y$ yazılırsa

$$Q_g + W_g + m(h_g + V_g^2/2 + gz_g) = Q_{\dot{c}} + W_{\dot{c}} + m(h_{\dot{c}} + V_{\dot{c}}^2/2 + gz_{\dot{c}})$$

Örnek 4 (devam)

Uygun ihmaller yapılnca; $m h g = Q_{\dot{c}} + m h_{\dot{c}}$

$$Q_{\dot{c}} = m(h_g - h_{\dot{c}}) = m(h_1 - h_2) = 10 \text{ kg/h} \cdot 1 \text{ h} / 3600 \text{ s} (2777.1 - 762.51) = 5.59 \text{ kW}$$

$$b) \Delta S_{\text{Çevre}} = Q/T = 5.59 / (23 + 273) = 0.0189 \text{ kW/K}$$

$$c) \Delta S_{\text{Toplam}} = \Delta S_{\text{su}} + \Delta S_{\text{Çevre}} = -0.0123 + 0.0189 = 0.00655 \text{ kW/K} > 0$$

Toplam entropi artmıştır, tersinmez işlemdir.

Örnek 5

Yalıtılmış bir tankta 100 kPa basınçta ve kütlesinin %75'i sıvı fazda olan 2 kg su bulunmaktadır. Daha sonra su içinde bulunan bir elektrikli ısıtıcı ile suyun tamamı buharlaştırılmaktadır. Hal değişimi sırasındaki entropi değişimini bul?

Çözüm:

$X=0.25$ olacaktır.

$$s_1 = s_f + x \cdot s_{fg} \quad (s_f \text{ ve } s_{fg} \text{ tablolardan okunur})$$

$$s_1 = 1.038 + 0.25 \cdot 6.0562 = 2.8168 \text{ kJ/kgK}$$

$$S_2 = \text{doygun buhar} = s_g = 6.8649 \text{ kJ/kgK} \quad (\text{Tablodan okunur})$$

$$\Delta S_{su} = m(s_2 - s_1) = 2 \cdot (6.8649 - 2.8168) = 8.1 \text{ kJ/K}$$

Örnek 6

Bir evin 30 cm kalınlığındaki 5mx7m'lik tuğla duvarının içinden sürekli ısı geçtiğini düşününüz. Dış ortam sıcaklığının 0 oC olduğu bir günde ev 27 oC sıcaklıkta tutuluyor. Tuğla duvarın iç yüzey sıcaklığı 20 oC ve dış yüzey sıcaklığı 5 oC olarak ölçülmüştür. Duvar boyunca ısı geçişi 1035 W değerindedir. Duvar içindeki entropi üretimini ve bu ısı geçişi ile birlikte gerçekleşen toplam entropi üretimini bulunuz?

Çözüm:

$$S_g - S_{\dot{c}} + S_{\text{üretim}} = dS_{\text{system}}/dt$$

Isı ısı entropi
kg kç üretimi

$$(Q/T)_g - (Q/T)_{\dot{c}} + S_{\text{üretim}} = 0 \quad \text{ise ;} \quad (1035/293) - (1035 / 278) + S_{\text{üretim}} = 0$$

$$S_{\text{üretim,duvar}} = 0.191 \text{ W/K}$$

Örnek 6 (devam)

Toplam entropi üretimi

$$1035/300 - 1035/273 + \text{Süretim} = 0$$

$$\text{Süretim, toplam} = 0.341 \text{ W/K}$$

$$\text{Süretim, toplam} > \text{Süretim, duvar}$$

$$0.341 > 0.191$$

Aradaki fark, duvarın her iki tarafında bulunan **film tabakalarının** oluşturmuş olduğu hava katmanlarının dirençleri yüzündendir.

Örnek 7

7 Mpa basınç ve 450 oC sıcaklığında buhar, sürekli akışlı bir kılma vanasında 3 Mpa basınca kadar kılma işlemine tabii tutuluyor. Bu hal değişimi sırasında meydana gelen entropi üretimini hesaplayınız ve entropi artış ilkesinin sağlanıp sağlanmadığını irdeleyiniz?

Çözüm: 1.durum(ilk durum)

$P_1=7$ Mpa, $T_1=450$ oC için $H_1= 3288.3$ kJ/kg ; $s_1= 6.6353$ kJ/kgK (A-6)

2. Durum (son durum) $P_2=3$ Mpa,

Kılma vanalarında $h_1=h_2$ dir.

$H_1=h_2$ ise; $s_2= 7.0046$ kJ/kgK (A-6) ;

$S_g - S_{ç} + S_{\text{üretim}} = dS_{\text{system}}/dt$

Isı Isı entropi

kg kç üretimi

$m.s_1 - m.s_2 + S_{\text{üretim}} = 0$

$S_{\text{üretim}}=m(s_1-s_2) = 7.0046 - 6.6353 = 0.3693$ kJ/kgK > 0

Örnek 8

200 kPa basınç, 10 oC sıcaklık ve 150 kg/dk debideki su, bir karıştırma odasında 200 kPa basınç ve 150 oC'deki buhar ile sürekli olarak karıştırılmaktadır. Karışım odayı 200 kPa basınç ve 70 oC sıcaklıkta terk etmektedir. Aynı zamanda havaya da 190 kJ/dk değerinde ısı kaybı olmuştur. Kinetik ve potansiyel enerji değişimlerinin ihmal ederek, bu hal değişimi sırasındaki entropi üretim miktarını hesaplayınız?

$$m_1 + m_2 = m_3$$

Genel enerji denkliği sürekli akışlı sistemler için T1Y yazılırsa

$$Q_g + W_g + m_1(h_{1g} + V_{1g}^2/2 + gz_{1g}) + m_2(h_{2g} + V_{2g}^2/2 + gz_{2g}) = Q_{\dot{c}} + W_{\dot{c}} + m_3(h_{3\dot{c}} + V_{3\dot{c}}^2/2 + gz_{3\dot{c}})$$

Uygun ihmalleri yapıncaya;

$$m_1.h_1 + m_2.h_2 = Q_{\dot{c}} + m_3.h_3$$

$$Q_{\dot{c}} = m_1.h_1 + m_2.h_2 - (m_1 + m_2).h_3 \text{ olur.}$$

Örnek 8 (devam)

h_1 i bulmak için önce faz durumunu belirleyelim

$T_1 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ için ; $P_1 = 200 \text{ kPa}$ için $T_{\text{doyg.}} = 120.21 \text{ }^\circ\text{C}$

$10 \text{ }^\circ\text{C} < 120.21 \text{ }^\circ\text{C}$ old. için soğuk sıvı

Soğuk sıvı özellikleri = doymuş sıvı özellikleri

$h_1 = h_f = 42.022 \text{ kJ/kg}$

$s_1 = s_f = 0.1511 \text{ kJ/kgK}$

 h_2 'yi bulmak için önce faz durumunu belirleyelim

$T_2 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ de ; $P_2 = 200 \text{ kPa}$ için $T_{\text{doyg.}} = 120.21 \text{ }^\circ\text{C}$

$150 \text{ }^\circ\text{C} > 120.21 \text{ }^\circ\text{C}$ old. için kızgın buhar

$h_2 = 2769.1 \text{ kJ/kg}$

$s_2 = 7.2810 \text{ kJ/kgK}$

Örnek 8 (devam)

h_3 'ü bulmak için önce faz durumunu belirleyelim

$T_3 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ de ; $P_2 = 200 \text{ kPa}$ için $T_{\text{doyg.}} = 120.21 \text{ }^\circ\text{C}$

$70 \text{ }^\circ\text{C} < 120.21 \text{ }^\circ\text{C}$ old. için **soğuk sıvı**

Soğuk sıvı özellikleri = doymuş sıvı özellikleri

$h_3 = h_f = 293.07 \text{ kJ/kg}$

$s_3 = s_f = 0.9551 \text{ kJ/kgK}$

Öncelikle m_2 kütleli debiyi bulalım;

$Q_{\dot{c}} = m_1.h_1 + m_2.h_2 - (m_1 + m_2)h_3$ idi.

$190 = 42.022 \cdot 150 + m_2 \cdot 2769.1 - (150 + m_2) \cdot 293.07$

$m_2 = 15.29 \text{ kg/dk}$ bulunur.

$S_g - S_{\dot{c}} + \text{Süretim} = dS_{\text{system}}/dt$

I_s I_s entropi

kg kg üretimi

$m_1.s_1 + m_2.s_2 - m_3.s_3 - Q/T + \text{Süretim} = 0$

Örnek 8 (devam)

$$\text{Süretim} = m_3 \cdot s_3 - m_1 \cdot s_1 - m_2 \cdot s_2 + Q/T$$

$$\text{Süretim} = (150 + 15.29) \cdot 0.9551 - 150 \cdot 0.1511 - 15.29 \cdot 7.2810 + 190 / 293$$

$$\text{Süretim} = 24.53 \text{ kJ/dkK} \quad \text{bulunur.}$$

Entropi üretim kaynakları:

*2 sıvının karışması

*Sonlu sıcaklık farkından ısı geçişi

Örnek 9

Sürtünmesiz bir piston silindir düzeneği 100 oC sıcaklıkta doymuş sıvı-buhar karışımı su içermektedir. Sabit basınçlı bir hal değişimi sırasında 25 oC sıcaklıktaki çevre havaya 600 kJ değerinde ısı geçişi olmaktadır. Sonuç olarak su buharının bir kısmı yoğunlaşmaktadır. Suyun entropi değişimini ve ısı geçişi sırasında meydana gelen toplam entropi değişimini bulunuz?

Çözüm: $\Delta S_{\text{sistem}} = Q/T = -600 / 373 = -1.61 \text{ kJ/K}$

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

$$\frac{\text{Isı}}{\text{kg}} - \frac{\text{Isı}}{\text{kç}} + \frac{\text{entropi}}{\text{üretimi}}$$

$$- Q_{\text{ç}}/T + S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{sistem}}$$

$$S_{\text{üretim}} = Q_{\text{ç}}/T + \Delta S_{\text{sistem}} = 600/298 + (-1.61) = 0.40 > 0$$

Entropi üretim kaynakları: *Sonlu sıcaklık farkından ısı geçişi

Örnek 10

Termodinamiğin 1. ve 2. kanunundan faydalanarak sistemin entropi değişimini veren denklemleri türetiniz.

$$dg=du + dw \quad ; \quad Tds = CvdT + pdV \quad ; \quad PV = RT \text{ ise; } P= RT/V$$

$$PV=RT \text{ ise; } PdV + VdP = RdT \quad ; \quad dT = (PdV + VdP) / R$$

$$TdS = Cv(PdV + VdP)/R + (RT/V) dV \quad \dots$$

Eğer değişkenler V ve P ise;

$$\Delta S_{\text{sistem}} = S2 - S1 = Cp.\ln(V2 / V1) + Cv. \ln (P2 / P1)$$

Eğer değişkenler V ve T ise;

$$\Delta S_{\text{sistem}} = S2 - S1 = Cv.\ln(T2 / T1) + R. \ln (V2 / V1)$$

Eğer değişkenler T ve P ise;

$$\Delta S_{\text{sistem}} = S2 - S1 = Cp.\ln(T2 / T1) - R. \ln (P2 / P1)$$

Örnek 11

Sıvılar ve katılar için entropi değişimi ifadesi nedir?
Sıvı ve katılar sıkıştırılamayan madde olarak kabul edilebildiklerinden dolayı $dV = 0$ olacağından;

$$\Delta S_{\text{sistem}} = S_2 - S_1 = C_{\text{ort}} \ln(T_2 / T_1)$$

Örnek 12

50 kg ağırlığında 500 K sıcaklığındaki bir demir külçe, 285 K sıcaklığındaki bir göl içerisine bırakılmıştır. Demir külçe ile göl belirli bir süre sonunda ısı dengeye ulaşmıştır. Demir için özgül ısı 0.45 kJ/kgK olduğuna göre;

a) Demir külçenin entropi değişimini bul?

b) Göl suyunun entropi değişimini bul?

c) Bu hal değişimi sırasında üretilen entropi değişimini bul?

$$\begin{aligned} \text{a) } \Delta S_{\text{demir külçe}} &= S_2 - S_1 = m(S_2 - S_1) = m.C_{\text{ort}}. \ln(T_2 / T_1) \\ &= 50 \text{ kg} \cdot 0.45 \text{ kJ/kgK} \cdot \ln(285/500) = -12.65 \text{ kJ/K} \end{aligned}$$

$$\text{b) } \Delta S_{\text{göl}} = Q/T =$$

Q'yu bulmak için kapalı sisteme T1'de yazalım

$$E_g - E_{\text{ç}} = \Delta U \quad \text{ise,} \quad -Q = m(U_2 - U_1) \quad \text{olacaktır.}$$

Örnek 12 (devam)

$$-Q = m(U_2 - U_1) = m \cdot C_{ort} \cdot (T_2 - T_1) = 50 \cdot (0.45) \cdot (500 - 285) = 4838 \text{ kJ}$$

$$\Delta S_{göl} = Q/T = -4838 / 285 = -16.97 \text{ kJ/K}$$

$$c) S_g - S_{ç} + S_{üretim} = \Delta S_{sistem}$$

Isı ısı entropi
kg kç üretimi

$$-Q_{ç}/T + S_{üretim} = \Delta S_{sistem}$$

$$S_{üretim} = 4838 / 285 - 12.65 = 4.32 \text{ kJ/K}$$

2. Yol: $\Delta S_{toplam} = \Delta S_{demir \text{ külçe}} + \Delta S_{göl \text{ suyu}} = -12.65 + 16.97 = 4.32 \text{ kJ/K}$

Örnek 13

Buhar adyabatik bir türbine 7 Mpa basınç, 500 oC sıcaklık ve 45 m/s hız ile girmektedir. 100 kPa basınç ve 75 m/s hız ile çıkmaktadır. Türbinin çıkış gücü 5 kW ve verimi %75 ise;

a)Buharın kütleli debisini bul? b)Akışkanın türbinden çıkan çıkış sıcaklığını bul? c)Entropi üretim hızını bul?

7 Mpa basınç ve 500 oC ; kızgın buhardır; $h_1=3411.4 \text{ kJ/kg}$, $s_1=6.8 \text{ kJ/kgK}$

$W= 5 \text{ MW} / 0.75 = 5000 \text{ kW} / 0.75 = 6494 \text{ kW}$

Adyabatik olduğuna göre; $S_1=S_2 = 6.8 \text{ kJ/kgK}$ olacaktır.

100 kPa basınç ve $S_2=6.8 \text{ kJ/kgK}$ ise; $h_2= 2471.77 \text{ kJ/kg}$ olarak bulunur. (Doğrusal orantılama tekniği kullanılarak bulunmuştur. El yazması notları içinde detayları vardır).

Örnek 13 (devam)

$$Q_g + W_g + m(h_{1g} + V_{g2}^2/2 + g z_g) = Q_{\dot{c}} + W_{\dot{c}} + m(h_{\dot{c}} + V_{\dot{c}2}^2/2 + g z_{\dot{c}})$$

Uygun ihmaller yapılnca;

$$m(h_g + V_{g2}^2/2) = W_{\dot{c}} + m(h_{\dot{c}} + V_{\dot{c}2}^2/2)$$

$$m(3411.4 + 45^2/2 \cdot 1000) = 6494 + m(2471.77 + 75^2/2 \cdot 1000)$$

$m = 6.924 \text{ kg/s}$ olarak bulunur.

b) Çıkış sıcaklığını bulmak için gerçek durum olan $W = 5000 \text{ kW}$ yazılır.

$$m(h_g + V_{g2}^2/2) = W_{\dot{c}} + m(h_{\dot{c}} + V_{\dot{c}2}^2/2)$$

$$6.924(3411.4 + 45^2/2 \cdot 1000) = 5000 + 6.924(h_{\dot{c}} + 75^2/2 \cdot 1000)$$

$$h_{\dot{c}} = 2687.4 \text{ kJ/kg}$$

$P_2 = 100 \text{ kPa}$ ve $h_{\dot{c}} = 2687.4 \text{ kJ/kg}$ için ; $T_{\dot{c}} = T_2 = 105.75 \text{ }^\circ\text{C}$ bulunur

(Doğrusal orantılama tekniği kullanılarak bulunmuştur. El yazması notları içinde detayları vardır).

$S_2 = 7.39029 \text{ kJ/kgK}$ olarak bulunur.

Örnek 13 (devam)

$$S_g - S_{ç} + \text{Süretim} = dS/dt = 0$$

Isı ısı entropi

kg kç üretimi

$$\text{Süretim} = m(S_2 - S_1) = 6.924 \text{ kg/s} \cdot (7.39029 - 6.8) \text{ kJ/kgK} = 4.087 \text{ kJ/sK} =$$

$$4.087 \text{ kW/K}$$

Örnek 14

İyi yalıtılmış, ince borulu, çift borulu ters akışlı bir ısı değiştirici bulunmaktadır. Bu ısı değiştiricinin bir tarafından 0.25 kg/s debide 15 oC sıcaklığındaki su, diğer taraftan ise 3 kg/s debide 100 oC sıcaklığındaki su geçmektedir.

Soğuk su için $C_p=4.18$ kJ/kgK ; Sıcak su için $C_p = 4.19$ kJ/kgK

a) Isı geçiş miktarını bul?

b) Entropi üretim miktarını bul?

Isı değiştirici içinde tek bir sistemi ele alarak ;soğuk sıvı için T1Y yazalım.

$$E_g - E_ç = \Delta E = 0$$

Isı Isı

İş iş

kg kç ise;

$$Q_g + m(h_1) = m.h_2$$

$$Q_g = m(h_2 - h_1) = m C_p. (T_2 - T_1) = 0.25.(4.18)(45 - 15) = 31.35 \text{ kW}$$

Örnek 14 (devam)

Sıcak suyun çıkış sıcaklığını da bulabiliriz.

$$31.35 = 3 (4.19) (100 - T_2) = 97.5 \text{ oC olur.}$$

$$S_g - S_{\dot{c}} + S_{\text{üretim}} = \Delta S = 0 \text{ (Tüm sistem ele alınıyor)}$$

Isı ısı entropi
kg kç üretimi

2 tane giriş var (Sıcak suyun girişi, soğuk suyun girişi)

2 tane çıkış var (Sıcak suyun çıkışı, soğuk suyun çıkışı)

Soğuk suyun girişi : m_1, S_1 ; soğuk suyun çıkışı: m_2, S_2

Sıcak suyun girişi : m_3, S_3 ; sıcak suyun çıkışı: m_4, S_4

$$m_1.S_1 + m_3.S_3 - m_2.S_2 - m_4.S_4 + S_{\text{üretim}} = 0$$

$$m_1 = m_2 = 0.25 \text{ kg/s} ; \quad m_3 = m_4 = 3 \text{ kg/s}$$

Örnek 14 (devam)

$$\text{Süretim} = \text{soğuk} + \text{sıcak} = m_1(S_2 - S_1) + m_3(S_4 - S_3)$$

$$\text{Süretim} = \text{soğuk} + \text{sıcak} = m_1(S_2 - S_1) + m_3(S_4 - S_3)$$

$$\text{Süretim} = m_{\text{soğuk}}.C_p \ln(T_2/T_1) + m_{\text{sıcak}}.C_p \ln(T_4/T_3)$$

$$= 0.25(4.18) \ln((45+273)/(15+273)) + 3(4.19) \ln((97.5+273)/(100+273))$$

$$= 0.10355 + (-0.0845) = 0.0190 \text{ KW/K}$$

Soğuk su ısı enerjisi aldığı için entropisi artmış (0.10355)

Sıcak su ısı enerjisi kaybettiği için entropisi azalmıştır (-0.0845)

Örnek 14 (devam)

NOT: Soruyu çözerken herbir sıcaklık değeri için doymuş sıvı kabulü yapıp A4 tablosundan ilgili entropi değerleri okunursa;

15 oC için $S_{soğuk\ giriş} = 0.2245$;

45 oC için $S_{soğuk\ çıkış} = 0.6386$;

97.5 oC için $S_{sıcak\ çıkış} = 1.2788$ (95 oC ile 100 oC nin aritmetik ortalaması)

100 oC için $S_{sıcak\ giriş} = 1.3072$;

Bu değerleri kullanarak çözüm yapılırsa $S_{üretim} = 0.018325 \text{ kW/K}$ olur.

Her 2 sonuçta birbirine yakındır.

Bölüm 8

EKSERJİ: İŞ POTANSİYELİNİN BİR ÖLÇÜSÜ

Ekserji Analizi

- *Çevre sıcaklığında çalışan enerji sistemleri için, “kullanılabilir enerji” olarak da bilinen ekserjiyi, enerjinin faydalı kısmı olarak düşünebiliriz.
- *Yani enerjinin faydalı kısmı, enerjinin başka enerji formuna dönüştürülebilen kısmıdır.
- *Bir madde ya da bir enerji akışına bağlı ekserji; baca gazı, soğutma suyu ve ısı kaybı şeklinde çevreye atılır.
- *Hem ekserji tahribi hem de ekserji kaybı, termodinamiğin ikinci kanun analizi de denilen “Ekserji Analizi”nden saptanır.
- *Termodinamiğin ikinci kanunu, hem bir enerji taşıyıcısının gerçek termodinamik değerini hem de proses ya da sistemlerden olan kayıpların ve gerçek termodinamik yetersizliklerin hesaplarının yapılabilmesi sonucu ile bir enerji dengesini tamamlar ve geliştirir.

- *Ekserji tahribi direk olarak sistem içindeki tersinmezliklerin sonucudur.
- *Kompleks termodinamik sistemlerin optimizasyonunda, termodinamiğin ikinci kanununun çok güçlü bir araç olduğunu kanıtlamıştır.
- *İkinci kanunun ışığında mühendislik aygıtlarının performanslarının belirlenebilmesi için; kullanılabilirlik, tersinir iş, tersinmezlik ve ikinci kanun veriminin tanımlamaları ile işe başlanmıştır.
- *Kullanılabilirlik, verilen bir durumdaki sistemden elde edilebilen maksimum faydalı iş miktarıdır.
- *Tersinir iş ise, belirli iki durum arasında bir proses geçiren sistemden elde edilebilen maksimum faydalı iştir.
- *Ayrıca tersinmezlik, bir proses sırasında kaybedilen iş potansiyelidir ve bu kayıp iş potansiyeli, tersinmezliklerin sonucu olarak meydana gelir.

- *Örneğin sıcak yer altı suyu gibi yeni bir enerji kaynağı bulunduğu zaman ilk yapılan işlemlerden biri, kaynakta bulunan enerjinin miktarını yaklaşık olarak belirlemektir.
- *Fakat sadece bu bilgiye sahip olmak, burada bir güç santrali yapmaya karar vermek için yetersizdir.
- *Asıl bilinmesi gereken, kaynağın iş potansiyeli veya kaynağın iş yapma olanağıdır.
- *Başka bir deyişle, kaynakta var olan enerjinin ne kadarının faydalı işe, örneğin bir elektrik jeneratörünü çalıştırmak için kullanılabilir işe dönüştürülebileceğinin bilinmesi gerekir.
- *Enerjinin geri kalanı veya faydalı işe dönüştürülemeyen bölümü, sonuçta atık ısı olarak çevreye verileceği için önem taşımamaktadır.

- *Bu bakımdan, belirli bir halde ve belirli bir miktarda enerjiden elde edilebilecek işi veren bir özelliğin tanımlanması çok yararlı olacaktır.
- *Bu özelliğin adı “kullanılabilirliktir” (Çengel ve Boles 1996).
- *Kullanılabilirlik çözümlemesinde ilk hal belirli olduğundan dolayı değişken değildir.
- *İki hal arasında sistem tarafından yapılan en çok iş, hal değişiminin tersinir olması durumunda gerçekleşir. Bu nedenle sistemden elde edilebilecek en çok işi belirlerken tersinmezlikler göz önüne alınmaz.
- *Son olarak, sistemden en çok işi elde edebilmek için, hal değişimi sonunda sistemin ölü halde olması gerekir.
- *Bir sistemin ölü halde olması demek, çevresiyle termodinamik dengede bulunması anlamına gelir.

- *Ölü haldeyken sistem, çevre sıcaklığında ve basıncındadır.
- *Başka bir deyişle, çevre ile ısı ve mekanik dengededir.
- *Ayrıca sistemin çevresine göre kinetik ve potansiyel enerjileri sıfırdır.
- *Sistemin ölü haldeki özellikleri, (P_o , T_o , h_o , u_o ve s_o) sıfır indisiiyle gösterilir.
- *Aksi belirtilmedikçe, ölü hal sıcaklığı $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve basıncı 1 atm alınabilir.
- *Bir sistemin ölü haldeki kullanılabilirliği sıfırdır.
- *Bir sistemden en çok iş elde edebilmek için sistemin son halinin ölü hal olma zorunluluğu şöyle açıklanabilir:
- *Sistemin son haldeki sıcaklığı eğer çevre sıcaklığının üzerinde veya altında ise, çevre sıcaklığıyla bu sıcaklık arasında çalışan bir ısı makinesi aracılığıyla iş yapılabilir. Sistemin son haldeki basıncı eğer çevre basıncının üzerinde veya altında ise bu basınç farkından yararlanarak genişleme işi yapılabilir.

- *Bütün bunlar değerlendirildiğinde şu sonuç elde edilebilir:
- *Bir sistemden elde edilebilecek en çok iş, sistem belirli bir başlangıç halinden, tersinir bir hal değişimi ile çevrenin bulunduğu hale (ölü hal) getirilirse elde edilir.
- *Bu değer, sistemin verilen başlangıç halinde, yararlı iş potansiyelini veya iş yapma olanağını göstermektedir ve kullanılabilirlik (ekserji) diye adlandırılır.
- *Ekserjinin, bir ısı makinesinin gerçek bir uygulamada yapabileceği iş olarak düşünülmemesi gerekir. Bu tanım, bir makinenin termodinamiğin yasalarına ters düşmeden yapabileceği işin üst sınırını belirler.
- *Bir sistemin kullanılabilirliğiyle yaptığı iş arasında küçük veya büyük bir fark her zaman vardır.
- *Bu fark mühendisler için daha iyinin sınırlarını çizer.

- *Verilen bir halde sistemin ekserjisi, sistemin özelliklerinin yanı sıra, çevre koşullarına, başka bir deyişle ölü hale bağlıdır.
- *Bu bakımdan ekserji sadece sistemin değil, sistem çevre ikilisinin bir özeliğidir.
- *Çevreyi değiştirmek kullanılabilirliği artırmanın bir yolu olabilir, fakat kolay bir yol olmadığı açıktır (Çengel ve Boles 1996).

Ekserjinin Önemli Boyutları

Ekserji kavramının en önemli boyutlarını maddeler halinde ifade edecek olursak;

- Ekserji, sistem ve çevrenin bir arada oluşturduğu kombine çevrimden elde edilebilen maksimum teorik iştir. Buradaki sistem, verilen bir durumdan çevre ile denge durumu olan ölü duruma geçer. Ölü durumda kombine sistem enerjiye sahiptir ancak ekserjiye sahip değildir.

- Sistemin tüm durumları için ekserji, sıfıra eşit ya da sıfırdan büyüktür.
- Değeri sistem durumu ile belirli olduğundan ekserji, ekstensif özelliktir ve burada bahsi geçen çevre daha önceden belirlenmiş olmalıdır. Ekserji, birim kütle ya da birim mol başına göre yazıldığında intensif özellik olarak temsil edilebilir.
- Ekserji, sistem durumunun çevresel durumdan uzaklaşma ölçüsüdür. Verilen bir durumdaki T sıcaklığı ile çevrenin T_0 sıcaklığı arasındaki fark büyüdükçe ekserji değeri de buna bağlı olarak büyür.
- Çevreye göre göreceli olarak belirlendiğinden, sistemin kinetik ve potansiyel enerji büyüklerinin tamamı ekserji büyüklüğüne katılır.
- Ekserji, kimyasal ve termomekaniksel ekserjilerin toplamı şeklinde ifade edilir. Termomekaniksel ekserji, fiziksel, kinetik ve potansiyel ekserji şeklinde sınıflandırılır.

- Ekserji, sistemler arasında transfer edilebilir ve sistemler içindeki tersinmezlikler yüzünden tahrip edilebilir. Bununla beraber ekserji, bir ekserji dengesi ile açıklanabilir.

Ekserjinin Önemi

*Bu çalışmanın giriş kısmında da belirtildiği gibi günümüzde birincil enerji kaynaklarının sınırlı olup hızla azalıyor olması ve buna bağlı olarak da enerji maliyetlerinin hızla artmasından dolayı, termal sistemlerdeki enerji kayıplarının belirlenmesinde ekserjetik analizler büyük önem kazanmıştır.

*Ekserji kayıplarının azalması, yani ekserji veriminin artması halinde proseste gerçekleşecek yıkım, kaynak tüketimi ve kayıp ekserji emisyonları ters orantılı olarak azalacaktır.

Enerji ve ekserji karşılaştırılması

ENERJİ

- *Termodinamiğin I. Kanunu ile ilgilidir.
- *Daima korunur. Yoktan var edilemez veya yok edilemez.
- *Enerji, hareket veya hareket üretebilme kabiliyetidir.
- *Niceliğin bir ölçütüdür.
- *Sadece madde ve enerji akış parametrelerine bağlı, çevre parametrelerinden bağımsızdır.

EKSERJİ

- *Termodinamiğin II. Kanunu ile ilgilidir.
- *Tersinir proseslerde korunur, tersinmez proseslerde daima kaybolur.
- *Ekserji, iş veya iş üretebilme kabiliyetidir.
- *Niceliğin ve kalitenin bir ölçütüdür.
- *Madde ve enerji akış parametrelerinin yanı sıra çevre parametrelerine de bağlıdır.

- *Ekserji, en kısa ifade ile kullanılabilir enerji şeklinde tanımlanmaktadır.
- *Ekserji aynı zamanda, verilmiş bir durumda bütün diğer enerji türlerine dönüştürülebilen enerji miktarının bir ölçüsü de olmaktadır.
- *Diğer enerji türlerine dönüşebilme özelliği enerjinin değer ölçüsü olarak alınırsa, çeşitli enerji türleri üç ayrı grupta toplanabilir:
 - 1) Diğer enerji türlerine sınırsız veya tamamen dönüştürülebilen enerji (örneğin; mekanik enerji, elektrik enerjisi, potansiyel enerji, kinetik enerji vb.)
 - 2) Diğer enerji türlerine sınırlı (kısmen) dönüştürülebilen enerji (örneğin; iç enerji, ısı enerjisi vb.)
 - 3) Diğer enerji türlerine dönüştürülmesi imkansız enerji (örneğin; çevrenin iç enerjisi vb.)

*Diğer enerji türlerine dönüştürülmesi olanak dışı olan enerjiye kullanılmaz enerji, bağlı **anerji** adı verilmektedir.

Dolayısıyla bütün enerji türleri için en genel bir ifade şöyle yazılabilir:

$$\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Anerji}$$

*Mekanik enerji ve elektrik enerjisi gibi enerji türlerinin anerji bölümü sıfıra eşittir.

*Aynı şekilde çevrenin iç enerjisinin tamamı anerji olduğu için çevre enerjisinin ekserjisi de sıfıra eşit olmaktadır.

*Ekserji, mühendislik biliminde iki temel konuyu kapsamaktadır. Bunlar çevre ve ekonomidir.

Ekoteknolojik bakımdan ise ekserji, şu üç temel konsept kapsamında ele alınmaktadır:

- 1) En az çevresel etki, en fazla enerji ve enerji kaynaklarının ideal koşullarda işletileceği teknolojiler.
 - 2) Çevreyi kirletme potansiyelleri yüksek olan maddelerin çevresel davranışları.
 - 3) Çevresel değerlendirme, enerji ve toplum güvenliği.
- *Yukarıdaki temel ekserji konseptlerine bakarak ekserjinin termodinamik bir potansiyel olduğu, iş yapabilme ve kullanılabilir enerjinin bir ölçütü olduğu söylenebilir.
- *Ekserji, aynı zamanda teknik iş yapma kapasitesi olarak da tanımlanabilir.
- *Ekserji sadece faydalı enerji düşüncesinden oluşmayan, aynı zamanda çevreyi kirleten enerji kaynaklarının tüketiminin azaltılması ve yeni çevre dostu enerji kaynaklarının kullanıma sunulması gibi konuları da kapsayan çok önemli bir mühendislik yaklaşımıdır

Ekserji ve Çeşitleri

Ekserji kelimesi Yunanca ex (dış) ve ergon (kuvvet ve iş) kelimelerinden türetilmiştir ve enerjinin başka bir enerjiye tamamen dönüşen kısmına denir.

Başka bir deyişle ekserji, tamamen başka bir enerjiye dönüşen enerji oranını göstermektedir. Daha sonraları ekserji, verilen şartlardaki bir sistemin, çevresi ile aynı şartlara getirilmesi (ölü hal) sonucu elde edilebilecek maksimum iş potansiyeli şeklinde tanımlanmıştır.

Ölü hal

Bir sistemin ölü halde olması demek, çevresiyle termodinamik dengede bulunması anlamına gelir.

Ölü halde iken sistem çevre sıcaklığında ve basıncındadır. Yani çevreyle ısı ve mekanik dengededir.

Ayrıca sistemin çevresine göre kinetik ve potansiyel enerjileri sıfırdır. Sistem ölü halde iken çevre ile kimyasal reaksiyona girmez. Sistemin ölü haldeki özellikleri P_o , T_o , h_o , u_o ve s_o 'dır. Ölü hal durumunda;
 $P_o = 1$ atmosfer (101,325 kPa) $T_o = 25$ oC (298,15 K) dır.

Bu tanımlardan hareketle, Termodinamiğin I. ve II. kanunu ekserji kapsamında kısaca şöyle ifade edilir.

I. Kanun; “bütün termodinamik süreçlerde enerji ve ekserjinin toplamı sabit kalır”,

II. Kanun ise; “tersinir süreçlerde ekserji sabit kalır, yani tersinmez süreçlerde ekserjinin bir kısmı veya tamamı enerjiye dönüşür veya enerji ekserjiye dönüşmez” şeklinde ifade edilebilir.

Bu ifadeler ışığında ve aşağıdaki şekil dikkate alınarak ekserji için şöyle bir matematiksel denklem yazılabilir.

Yani genel ekserji; kinetik, potansiyel, kimyasal ve fiziksel ekserjilerin toplamıdır. $B = BK + BP + B_{kim.} + B_{fiz.}$

Fiziksel ekserji

Sistemin sıcaklığı T ve basıncı P ilk durumundan, T_o , P_o halindeki çevre şartları ile termodinamik denge haline getirildiğinde sistemden elde edilecek maksimum iş olarak tanımlanır.

$$B_{fiz.} = (h - h_o) - T_o (s - s_o)$$

Bir sistemde iki durum arasındaki fiziksel ekserji farkı da;

$$B_{fiz.1} - B_{fiz.2} = (h_1 - h_2) - T_o (s_1 - s_2)$$

Fiziksel ekserji aşağıda gösterildiği gibi iki bileşenden oluşmaktadır.

$$B_{fiz.} = B_{\Delta T} + B_{\Delta P}$$

Bu denklemdeki birinci terim, fiziksel ekserjinin termal bileşeni olup sıcaklık farkından dolayı ortaya çıkmaktadır ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$B_{\Delta T} = \left[- \int_{T_1}^{T_o} \frac{T - T_o}{T} dh \right]$$

İkinci terim ise basınç bileşeni olup, basınç farkından dolayı meydana gelmektedir. Basınç bileşeni aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$B_{fiz.} = (h_o - h_1) - T_o.(s_o - s_1)$$

İdeal gazların fiziksel ekserjileri

Herhangi bir durumda ve ideal gazdan oluşan sistemin fiziksel ekserjisi aşağıdaki denklemden hesaplanır:

$$B_{fiz.} = C_p \left[(T - T_o) - T_o \ln \frac{T}{T_o} \right] + R T_o \ln \frac{P}{P_o}$$

Katı ve sıvıların fiziksel ekserjileri

Herhangi bir durumda ve katı veya sıvıdan oluşan sistemin fiziksel ekserjisi ise aşağıdaki denklemden hesaplanabilir:

$$B_{fiz.} = C \left[(T - T_o) - T_o \ln \frac{T}{T_o} \right] + V m. (P - P_o)$$

Kimyasal ekserji

Bir maddenin çevresiyle kimyasal denge haline geldiğinde ısı transferi ve madde alışverişinden dolayı yaptığı maksimum işe “kimyasal ekserji” adı verilir.

Standart kimyasal ekserji

Bazı uygun çevre malzemelerinin özellikleri referans alınarak maddelerin standart kimyasal ekserjileri hesaplanmıştır. Standart kimyasal ekserjiler, standart çevre (ölü hal) sıcaklığına ($T_0 = 25\text{ }^{\circ}\text{C} = 298,15\text{ K}$) ve basıncına ($P_0 = 1\text{ atm}$) bağlıdır.

Referans maddeler genellikle üç grupta toplanmıştır;

- *Atmosferdeki gaz bileşenler,
- *Litosferdeki katılar,
- *Deniz, okyanuslardaki iyonik ve iyonik olmayan maddeler

Tablo 5.2 Bazı maddelerin standart kimyasal ekserjileri (Atalay 2004)

Madde	Faz	Mol Ağırlığı (kg/kmol)	Standart Kimyasal Ekserji (kJ/kmol)
Ag	Katı	107,8	73730
Al_2O_3	Katı	101,9	204270
CO_2	Gaz	44	20140
H_2O	Gaz	18	11710
H_2O	Sıvı	18	3120
CH_4	Gaz	16	836510
C_8H_{18}	Sıvı	114	5440030

Gaz karışımlarının kimyasal ekserjileri

Gaz karışımlarının ekserjilerinin bilinmesi önem arz eder zira termal sistemlerin çoğu, gaz karışımları içermektedir. Özellikle yanma ve kimyasal proseslerin ekserji analizlerinde gaz karışımları ön plana çıkmaktadır. N adet gazdan oluşan bir gaz karışımının kimyasal ekserjisi;

$$Bo = \sum_{i=1}^N xi. bo, i + RTo \sum_{i=1}^N xi. lnxi$$

Yakıtların kimyasal ekserjileri

Yakıtların kimyasal ekserjileri, yakıtı oluşturan bileşenlerden hareketle hesaplanabilir. Bundan dolayı Szargut ve Strylska; yakıt ekserjisinin yakıtın ısıl değerine oranını ifade eden Φ değerini geliştirmişlerdir. Bu oran:

$$\Theta = \frac{Bo}{Hu}$$

olarak belirtilmiştir ve katı yakıtlar için aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\Phi_{katı} = 1,0437 + 0,1882 \frac{h}{c} + 0,0610 \frac{O}{c} + 0,0404 \frac{n}{c}$$

Yukarıdaki ifadede su buharının ekserjisi dikkate alınmamıştır. Su buharı dikkate alındığında katı yakıtlar için kimyasal ekserji aşağıda belirtilen denklemdeki gibi hesaplanır.

$$Bo_{katı} = \varphi((Hu)_{katı} + w.h_{fg})$$

Sıvı yakıtlar için kimyasal ekserji oranı Φ ise kükürtün etkisi de dikkate alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır. Burada kullanılan “s” entropi olmayıp, yakıt içerisindeki kükürt kütle oranıdır.

$$\Phi_{\text{sıvı}} = 1,0401 + 0,1728 \frac{h}{c} + 0,0432 \frac{o}{c} + 0,2169 \frac{s}{c} (1 - 2,0628 \frac{h}{c})$$

buradan da sıvı yakıtların kimyasal ekserjisi,

$$B_{\phi \text{ sıvı}} = \Phi_{\text{sıvı}} \cdot (Hu)_{\text{sıvı}}$$

Yukarıdaki formüllerden Φ hesaplandığında, bazı yakıtların ekserjilerinin alt ısı değerlerine oranları yaklaşık olarak Tablo 5.3'teki gibi bulunur.

Tablo 5.3 Bazı yakıtların kimyasal ekserjilerinin alt ve üst ısı değere oranı (Atalay 2004)

Yakıt	Yakıttaki Kütle Oranı (%)				Φ / H_a	Φ / H_{ii}
	C	H_2	$N_2 + S$	O_2		
Linyit	70	5	2	23	1,17	1,04
Kok	95	1	2	2	1,06	1,04
Fuel-oil	85	14	1	-	1,07	0,99

Isıl ekserji

Sistemlerin ısı ekserjisi aşağıdaki denklemde verildiği gibi hesaplanır:

$$B_{\text{ısı}} = B_{\text{fiz}} + B_{\text{kim}}$$

İş ekserjisi

Ekserji, maksimum iş potansiyeli olduğundan, bütün süreçlerde iş ekserjiye eşittir.

$$B_w = W$$

Isı transferinin ekserjisi

Isı transferinden dolayı meydana gelen ekserji;

$$B_Q = \int_A \left(\frac{T - T_o}{T} \right) Q_i \cdot dA$$

Eğer bir sistemde üniform sıcaklık dağılımı varsa ısı transferinden dolayı oluşan ekserji;

$$BQ = QA.(1 - \frac{T_o}{T})$$

Ekserji Kaybı

Aşağıdaki denklemde bir sistemin ekserji kaybı veya tersinmezliğinin nasıl hesaplanacağı ifade edilmektedir. Bu denklemden de görüleceği gibi ekserji kaybı net entropi değişimi ile çevre sıcaklığının çarpımına eşittir.

$$\delta B = T_o \Sigma \Delta S = T_o \Delta S_{net}$$

Bu denkleme “Ekserji Kaybı Yasası” veya “Gouy–Stodola Yasası” adı verilir. Ayrıca aşağıdaki denklemde de ifade edildiği gibi ekserji kaybı, tersinmezliklerden dolayı ortaya çıkan kayıp işe eşittir.

$$\Delta B = \delta W_{kay}$$

Kısma olayında meydana gelen ekserji kaybı

Çeşitli sistemlerin kısma olayından sonra ekserji kayıpları aşağıda ifade edilmiştir.

Sıvılar için: Sıvıların kısma olayı sonunda sistemde meydana gelen ekserji kaybı aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir:

$$\delta B = \frac{T_o}{T} v dP$$

İdeal gaz için: İdeal gazların kısıma olayı sonunda sistemin ekserjisinde meydana gelen azalma aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir:

$$\delta B = n R T_o \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

Sürtünmeden dolayı ekserji kaybı

Sistemdeki sürtünmeden dolayı meydana gelen ısıнын sebep olduğu ekserji kaybı aşağıdaki denklemle ifade edilebilir:

$$\delta B = Q F \frac{T_o}{T}$$

Sonlu sıcaklık farkındaki ısı transferinde ekserji kaybı

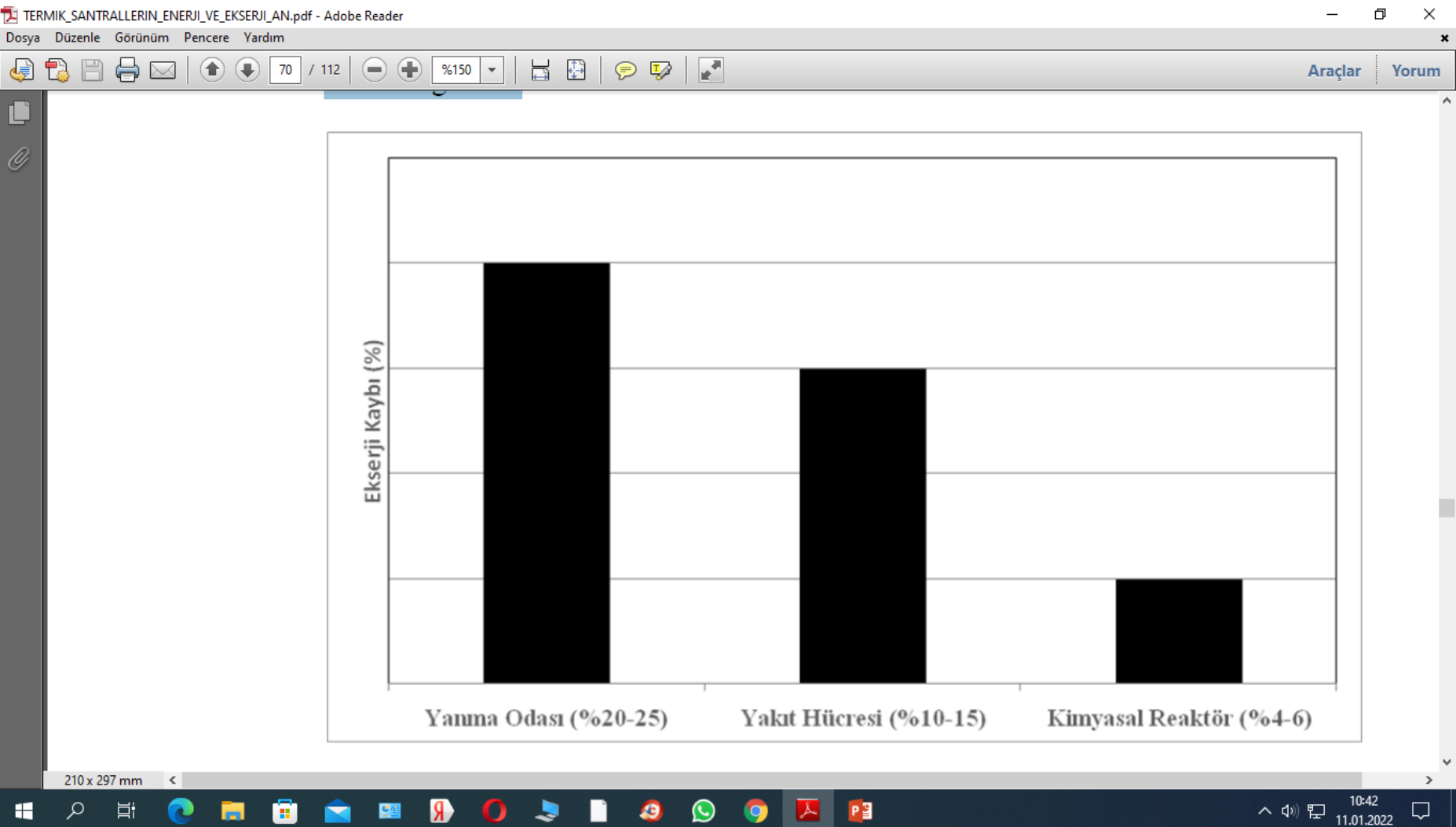
Sonlu sıcaklık farkının olduğu, sıcaklığı T_1 olan 1 no'lu sistem ile T_2 olan 2 no'lu sistemlerin arasındaki ısı transferi sonucunda ortaya çıkan ekserji kaybı aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$\delta B = Q \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \right) T_o$$

Çeşitli ısıl prosesler için ekserji kayıplarının karşılaştırılması

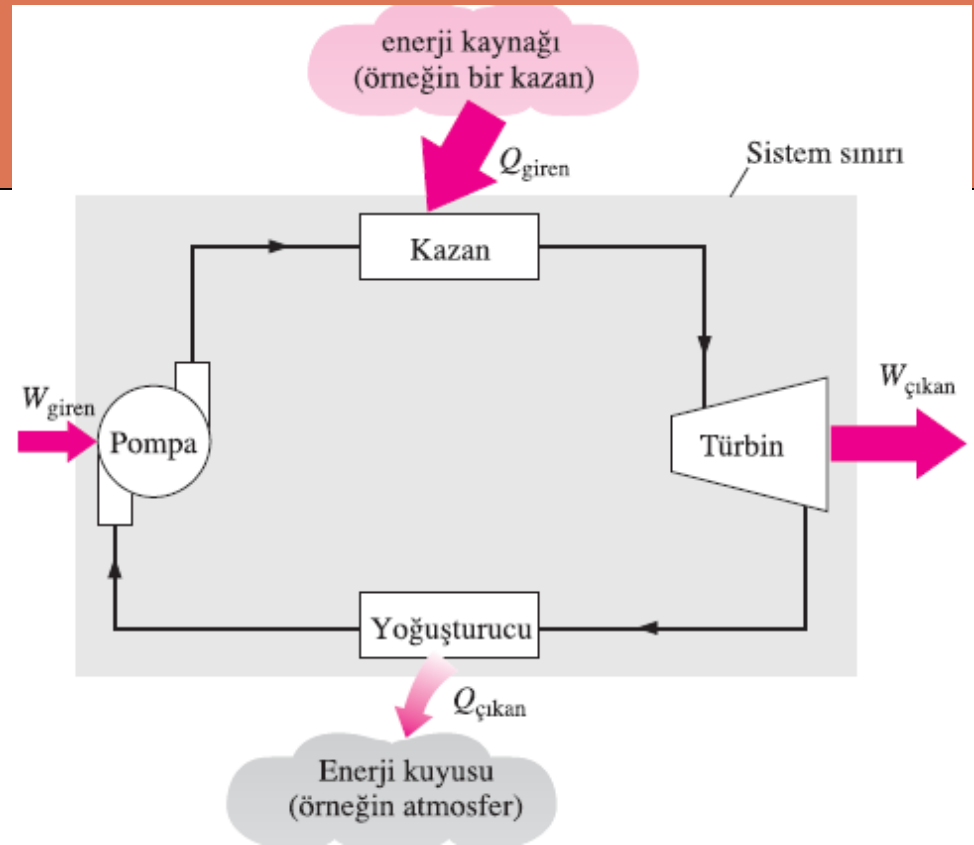
Isıl prosesler için elde edilen ekserji kaybı değerleri aşağıdaki şekilde karşılaştırılmıştır. Modern bir gaz türbinin yanma odasında oluşan ekserji kaybı % 22'dir. Yakıt hücrelerindeki ekserji kayıpları % 10–15 arasında değişmektedir. En düşük ekserji kaybı kimyasal reaktörde elde edilmiştir. Bu şekilde bakıldığında, modern bir gaz türbininde yanma odasının yerine yakıt hücresi kullanılması halinde ekserji kaybında yaklaşık % 10'luk bir azalmanın sağlanacağı söylenebilir. Elde edilen ekserji kaybı değerleri aynı zamanda hesaplamalarda kullanılan ve yukarıda özetlenen matematiksel ifadelerle ilgili olarak her bir prosesin ideal çalışma koşullarında işletilip işletilemeyeceği konusunda da bir ön fikir vermektedir.

Sonuç olarak termal sistemlerin dizaynında ekserji kaybı hesabı ve ekserji analizi, literatürde gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bir termal sistemin gerçek performansı, ekserji kaybı ve sistemden elde edilecek maksimum kullanılabilir iş hesaplanarak bulunabilir. Bundan dolayı tüm mühendislik sistemleri ekserji analizi yöntemi kullanılarak analiz edilmesi gerekir.



ÖZET:

Bir buharlı güç santrali



Q_{giren} = Yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağından (kazandan) suya geçen ısı miktarı.

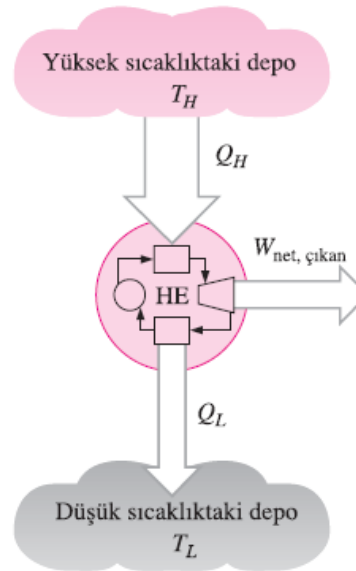
$Q_{çıkan}$ = Yoğusturucuda buhardan düşük sıcaklıktaki kuyuya (atmosfer, akarsular vb.) geçen ısı miktarı.

$W_{çıkan}$ = Türbinde genişlerken buhar tarafından üretilen iş miktarı.

W_{giren} = Suyu kazan basıncına sıkıştırmak için gereken iş miktarı.

ÖZET: Isıl verim

Verimi en yüksek ısı makineleri bile, aldıkları ısı'nın neredeyse yarısını atık ısı olarak çevreye verirler.



Isı
makinesinin
genel çizimi

$$W_{\text{net, çıkan}} = Q_H - Q_L$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{W_{\text{net, çıkan}}}{Q_H}$$

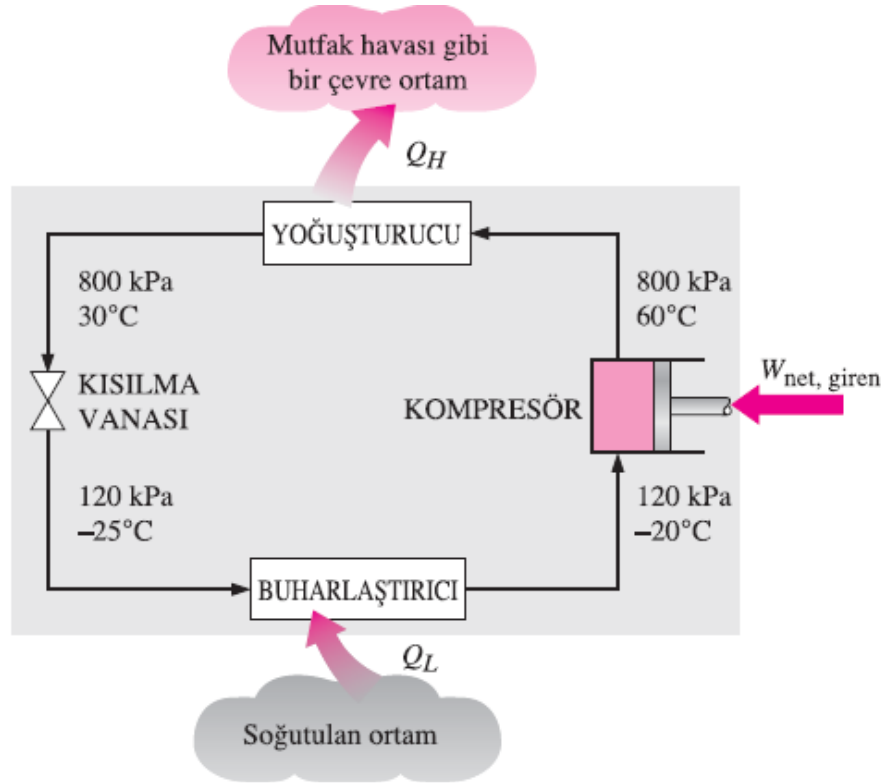
$$\text{Isıl verim} = \frac{\text{Elde edilen net iş}}{\text{Toplam giren ısı}}$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{W_{\text{net, çıkan}}}{Q_{\text{giren}}}$$

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

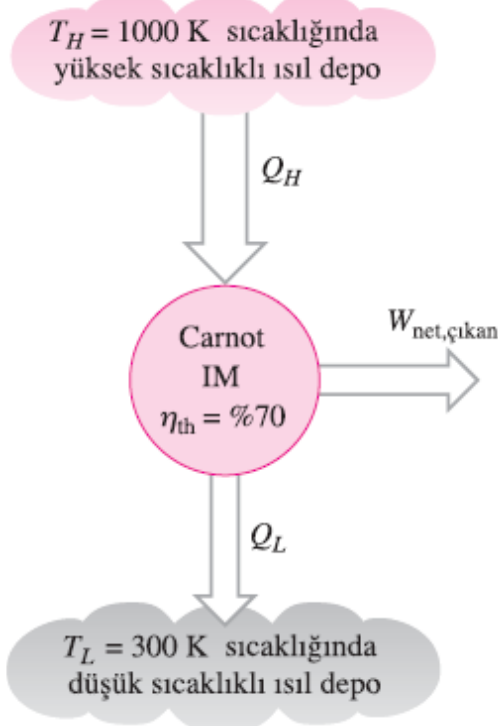
$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{Q_{\text{çıkan}}}{Q_{\text{giren}}}$$

ÖZET : SOĞUTMA MAKİNELERİ VE ISI POMPALARI



Bir soğutma sisteminin ana elemanları ve tipik çalışma koşulları.

ÖZET : CARNOT ISI MAKİNESİ

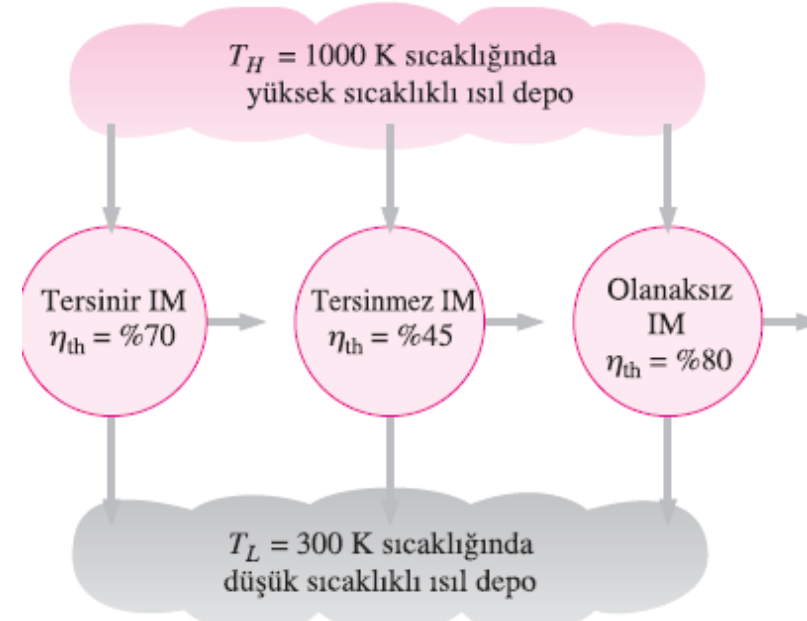


Herhangi bir ısı makinesi

$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

Carnot ısı makinesi

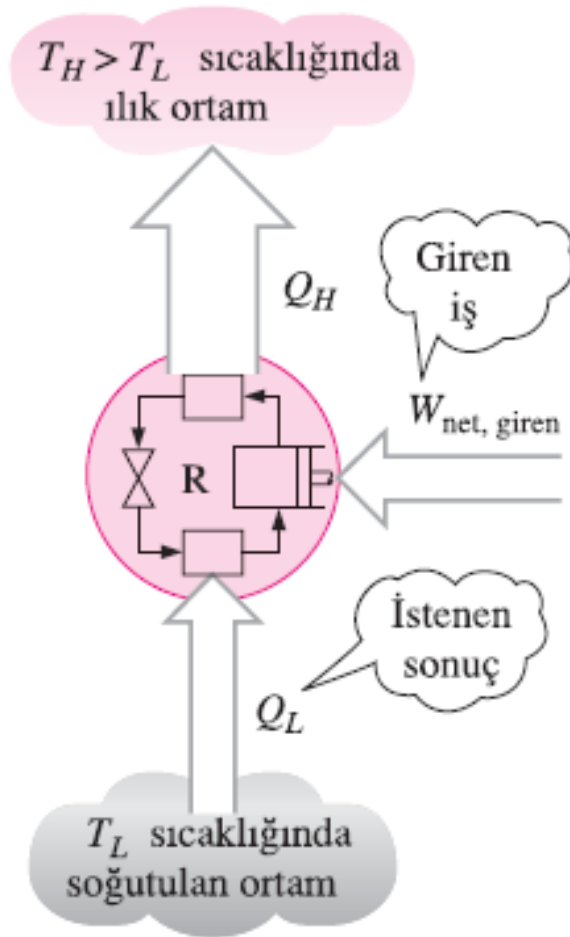
Carnot ısı makinesi, aynı yüksek ve düşük sıcaklıklı ısı depolar arasında çalışan ısı makineleri içinde en yüksek verime sahip olanıdır.



$$\eta_{th} \begin{cases} < \eta_{th,tr} & \text{tersinmez ısı makinesi} \\ = \eta_{th,rev} & \text{tersinir ısı makinesi} \\ > \eta_{th,tr} & \text{olanaksız ısı makinesi} \end{cases}$$

$$\eta_{th,tr} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

ÖZET : Etkinlik Katsayısı



$$\text{COP}_{\text{SM}} = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcanması gereken değer}} = \frac{Q_L}{W_{\text{net, giren}}}$$

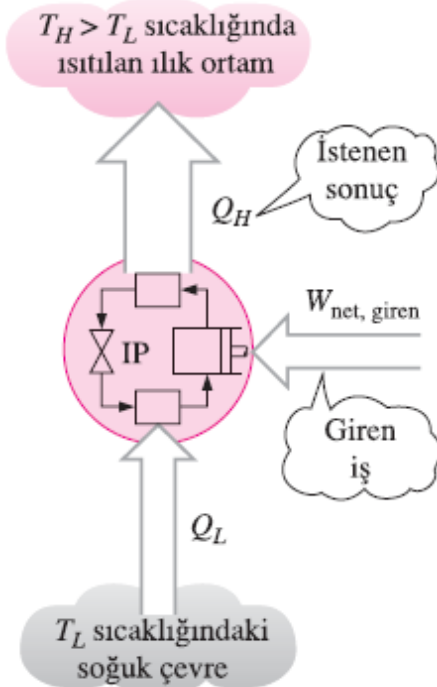
$$W_{\text{net, giren}} = Q_H - Q_L \quad (\text{kJ})$$

$$\text{COP}_{\text{SM}} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{Q_H/Q_L - 1}$$

COP_{SM} 'in değeri birden büyük olabilir mi?

Bir soğutma makinesinin amacı, soğutulan ortamdan Q_L ısını *çekmektir*.

ÖZET : Isı Pompaları



Bir ısı pompasının amacı, ılık ortama Q_H ısısını vermektir.

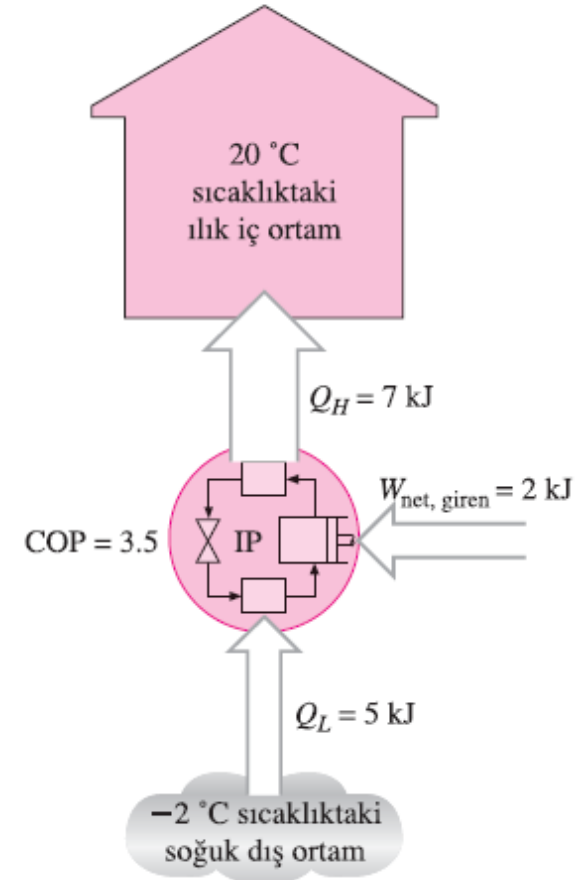
Bir ısı pompasına giren iş, soğuk dış ortamdan alınan ısı enerjisinin, ılık iç ortama verilmesini sağlar.

$$\text{COP}_{\text{IP}} = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcanması gereken değer}} = \frac{Q_H}{W_{\text{net,giren}}}$$

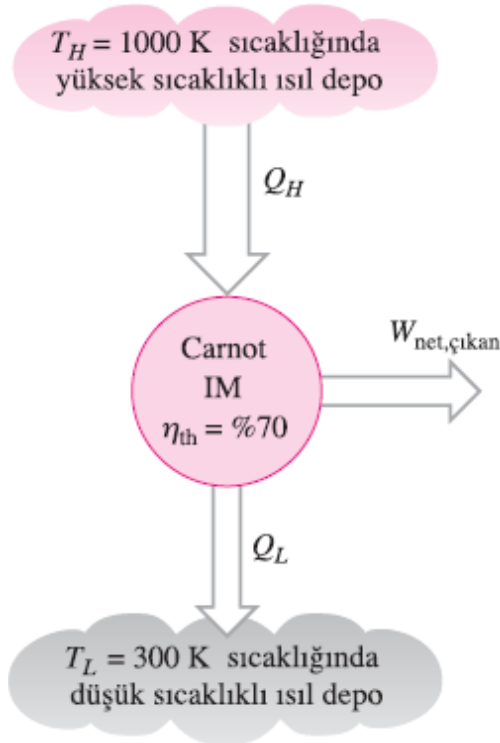
$$\text{COP}_{\text{IP}} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{1 - Q_L/Q_H}$$

$$\text{COP}_{\text{IP}} = \text{COP}_{\text{SM}} + 1$$

Q_L ve Q_H 'ın sabit değerleri için



ÖZET : CARNOT ISI MAKİNESİ



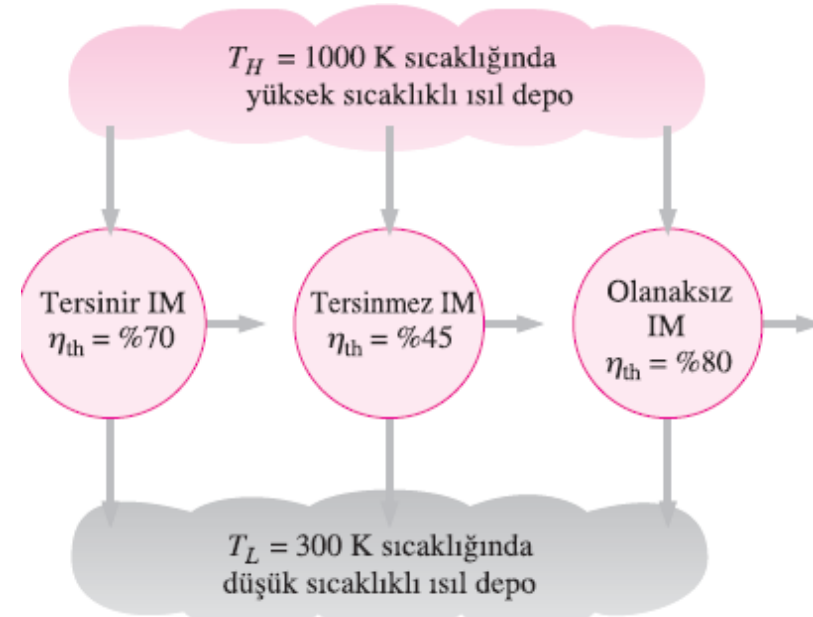
Carnot ısı makinesi, aynı yüksek ve düşük sıcaklıklı ısı depolar arasında çalışan ısı makineleri içinde en yüksek verime sahip olanıdır.

Herhangi bir ısı makinesi

Carnot ısı makinesi

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

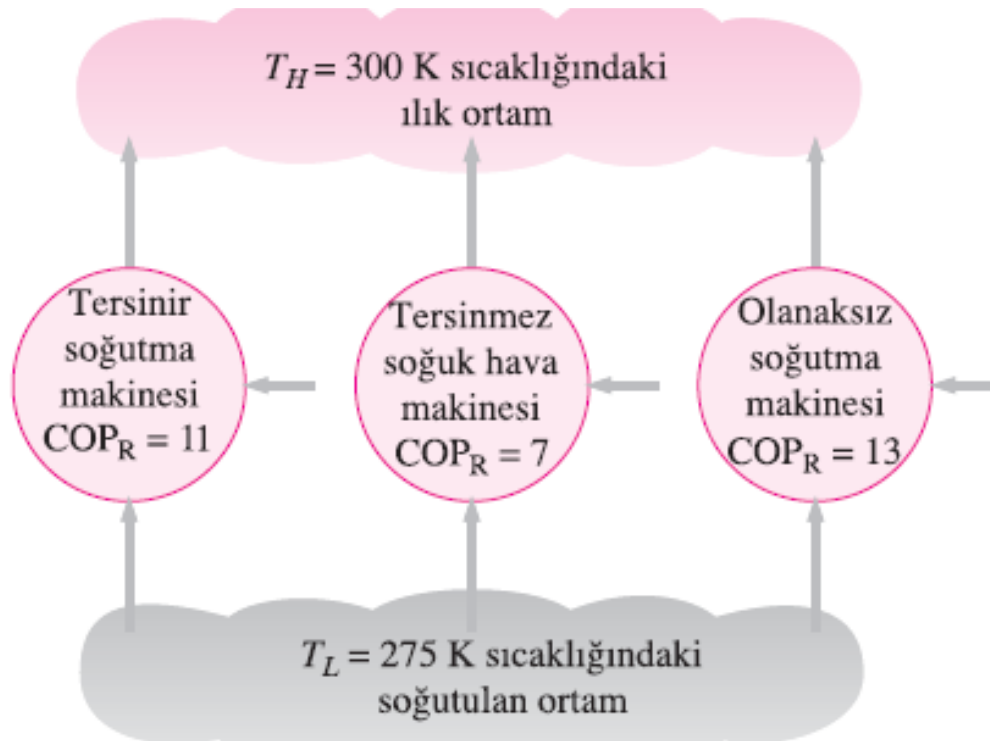
$$\eta_{\text{th,tr}} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$



Aynı yüksek ve düşük sıcaklıklı ısı depolar arasında çalışan ısı makinelerinden hiçbirinin verimi, tersinir ısı makinesinin veriminden yüksek olamaz.

$$\eta_{\text{th}} \begin{cases} < \eta_{\text{th,tr}} & \text{tersinmez ısı makinesi} \\ = \eta_{\text{th,rev}} & \text{tersinir ısı makinesi} \\ > \eta_{\text{th,tr}} & \text{olanaksız ısı makinesi} \end{cases}$$

ÖZET: CARNOT SOĞUTMA MAKİNESİ VE ISI POMPASI



Herhangi bir soğutma makinesi veya ısı pompası

$$\text{COP}_R = \frac{1}{Q_H/Q_L - 1}$$

$$\text{COP}_{\text{HP}} = \frac{1}{1 - Q_L/Q_H}$$

Carnot soğutma makinesi veya ısı pompası

$$\text{COP}_{\text{SM, tr}} = \frac{1}{T_H/T_L - 1}$$

$$\text{COP}_{\text{IP, tr}} = \frac{1}{1 - T_L/T_H}$$

Hiçbir soğutma makinesi aynı sıcaklık sınırları arasında çalışan tersinir bir soğutma makinesinden daha yüksek bir COP değerine sahip olamaz.

Carnot soğutma makinesi veya ısı pompasının COP' sini nasıl arttırabilirsiniz? Gerçek olanları için ne dersiniz?

ÖZET : ENTROPİ DENGESİ

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

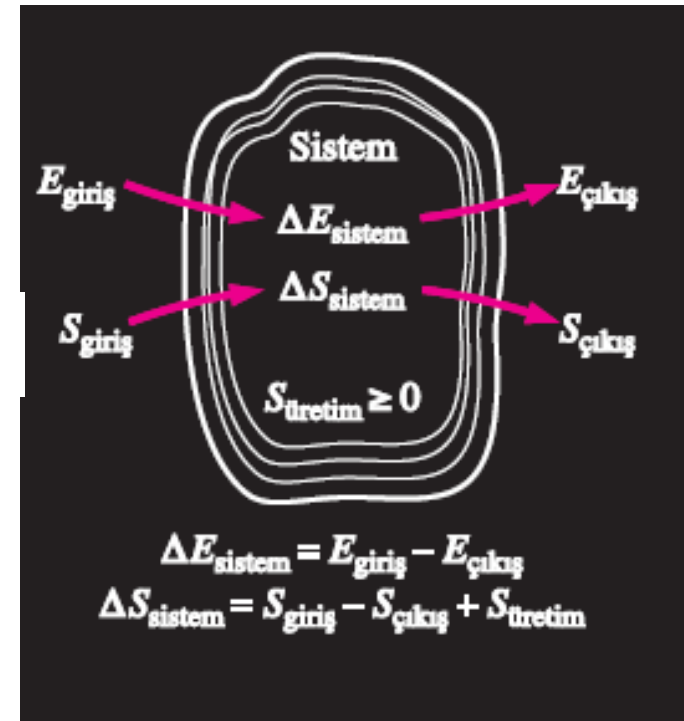
$$S_g - S_{\text{ç}} + S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{sistem}}$$

Bir sistemin entropi değişimi, ΔS_{system}

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

Sistemin özellikleri kararlı olmadığında

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



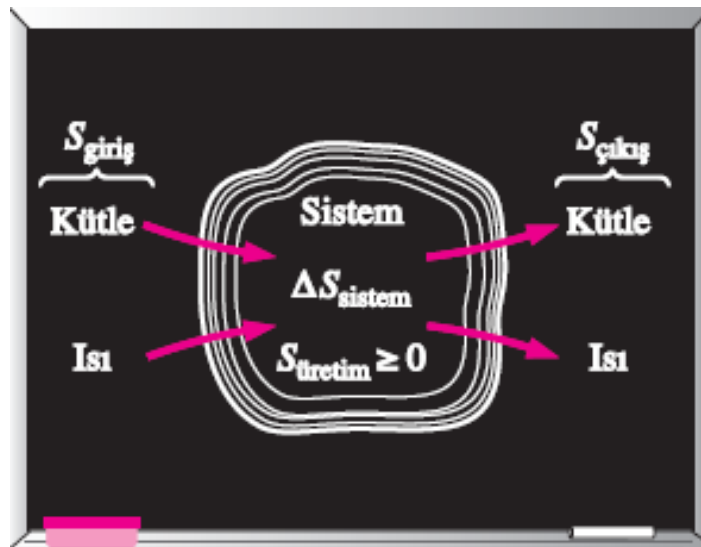
Bir sistem için enerji ve entropi dengeleri

ÖZET : Entropi Üretimi, $S_{\text{üretim}}$

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

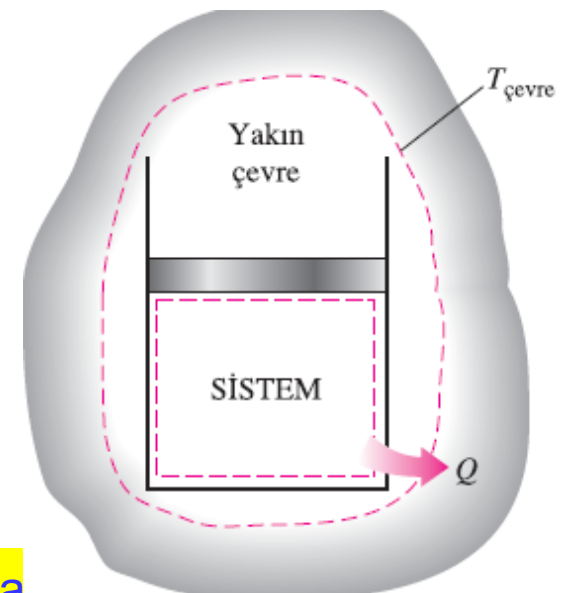
$$\underbrace{\dot{S}_g - \dot{S}_{\phi}}_{\text{Birim zamanda ısı ve kütle ile gerçekleşen net entropi geçişi}} + \underbrace{\dot{S}_{\text{üretim}}}_{\text{Birim zamandaki entropi üretimi}} = \underbrace{dS_{\text{sistem}}/dt}_{\text{Birim zamanda entropideki değişim}}$$

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



Genel bir sistem için entropi geçiş mekanizması

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

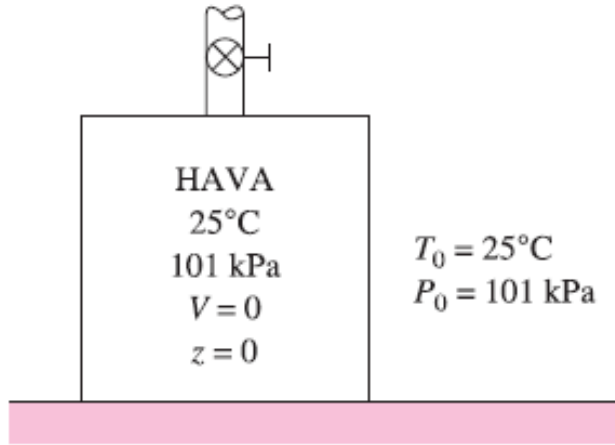


Amaçlar

- Termodinamiğin ikinci yasası ışığında, mühendislik düzeneklerinin verimlerini veya etkinliklerini incelemek.
- Belirli bir çevrede verilen bir halde bulunan sistemden elde edilebilecek en fazla yararlı iş olan ekserjiyi (kullanılabilirlik) tanımlamak.
- Bir sistem, iki belirli hal arasında bir hal değişimi geçirirken, elde edilebilen en fazla yararlı iş olan tersinir işi tanımlamak.
- Tersinmezliklerin bir sonucu olarak, hal değişimi sırasındaki harcanmış iş potansiyeli olan tersinmezliği tanımlamak.
- İkinci yasa verimliliği terimini tanımlamak.
- Ekserji dengesi ilişkisini geliştirmek.
- Ekserji dengesini kapalı sistemlere ve kontrol hacimlerine uygulamak.

EKSERJİ: ENERJİNİN İŞ POTANSİYELİ

Belirli bir halde ve miktardaki enerjinin yararlı iş potansiyeli özeliğine *kullanılabilirlik* veya *kullanılabilir enerji* diye de bilinen *ekserji* denir. Bir sistemin **ölü halde** olması, çevresi ile termodinamik dengede bulunması anlamına gelir.



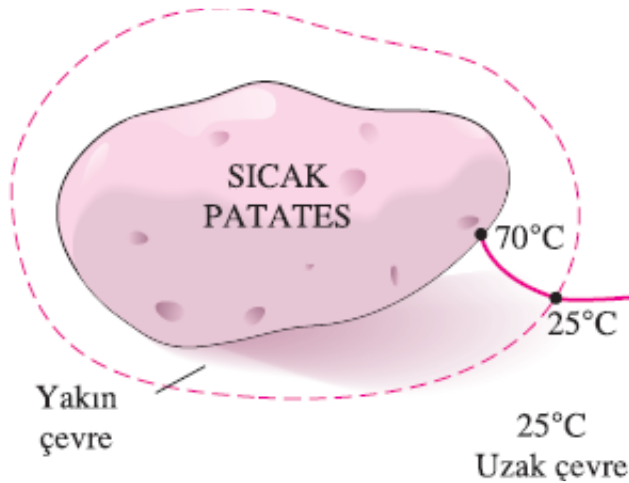
Çevresiyle dengede bulunan bir sistem ölü haldedir.

Ölü haldeyken sistemden elde edilebilecek yararlı iş potansiyeli (kullanılabilirlik) sıfırdır.

Bir sistem, belirli bir başlangıç halinden, çevresinin haline, yani ölü hale geçtiği bir tersinir hal değişimi geçirdiğinde, o sistemden en fazla iş elde edileceği sonucuna varırız.

Bu, belirli bir haldeki sistemin *yararlı iş potansiyelini* temsil etmektedir ve ekserji olarak adlandırılır.

Ekserji herhangi bir termodinamik yasasına karşı gelmeden, bir düzeneğin verebileceği işin miktarındaki üst sınırı temsil etmektedir.



Sıcak bir patatesin yakın çevresi, basitçe patatesin yakınındaki havanın sıcaklık eğrilerinin bölgesidir.



Atmosfer çok miktarda enerji içerir, fakat kullanılabilirliği sıfırdır.

Kinetik ve Potansiyel Enerji ile ilgili Ekserji (İş Potansiyeli)

Potansiyel enerjinin ekserjisi:

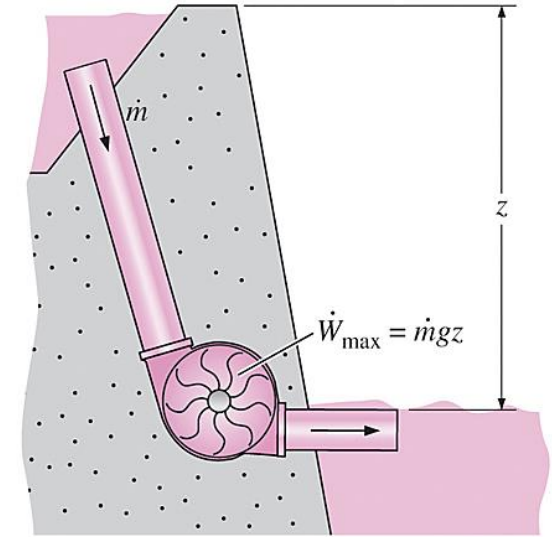
$$x_{pe} = pe = gz \quad (\text{kJ/kg})$$

Kinetik enerjinin ekserjisi:

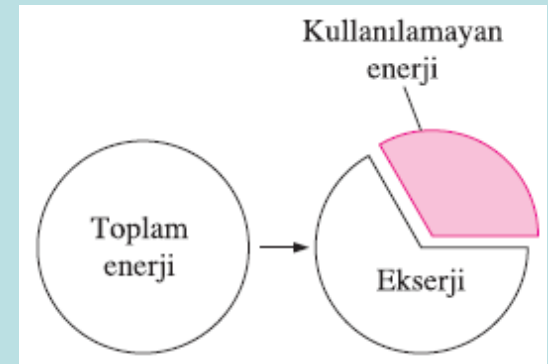
$$x_{ke} = ke = \frac{V^2}{2} \quad (\text{kJ/kg})$$

Kinetik ve potansiyel enerjilerin ekserjileri kendilerine eşittir ve tamamen iş için kullanılabilirler.

Potansiyel enerjinin iş potansiyeli yada ekserjisi, potansiyel enerjinin kendisine eşittir.



Kullanılamayan enerji, enerjinin tersinir bir ısı makinesiyle bile işe dönüştürülemeyen bölümüdür.



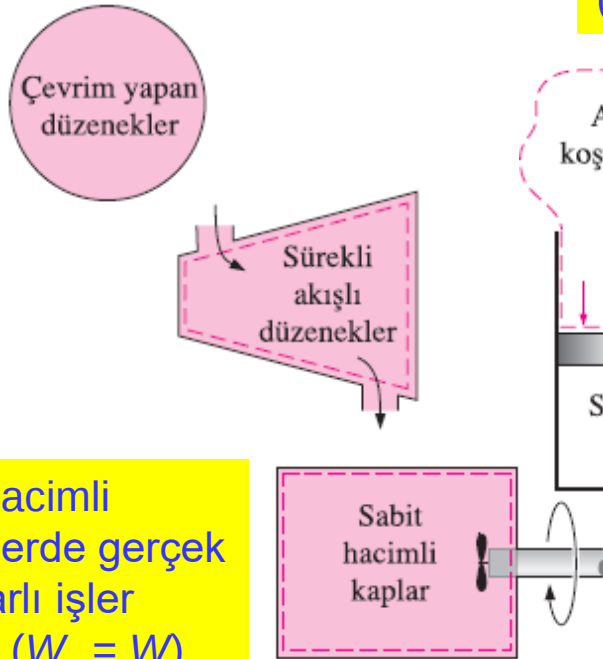
TERSİNİR İŞ VE TERSİNMEZLİK

$$W_{\text{çevre}} = P_0(V_2 - V_1)$$

Kapalı bir sistemin genişlemesi sırasında çevre havayı itmek için bir miktar iş ($W_{\text{çevre}}$) yapılır.

Tersinir iş W_{tr} : Bir sistem belirli bir başlangıç hali ve son hal arasında bir hal değişimi geçirdiğinde, üretilebilen yararlı işin en fazla miktarı (veya sağlanması gereken en az iş) olarak tanımlanır.

$$W_y = W - W_{\text{çevre}} = W - P_0(V_2 - V_1)$$

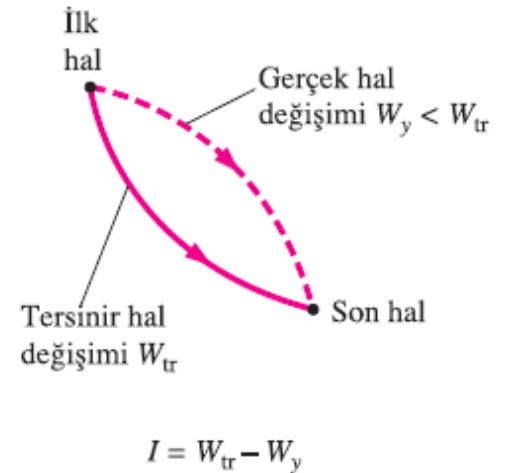


Sabit hacimli sistemlerde gerçek ve yararlı işler aynıdır ($W_y = W$).

Tersinir işle gerçek yararlı iş arasındaki fark tersinmezliktir.

$$I = W_{\text{tr}, \text{ç}} - W_{y, \text{ç}}$$

$$I = W_{y, \text{g}} - W_{\text{tr}, \text{g}}$$



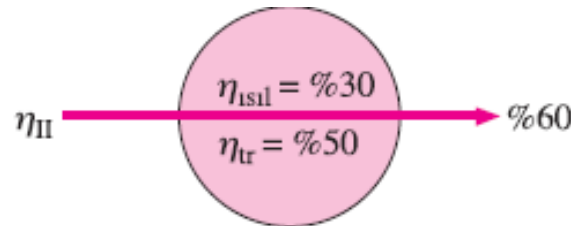
İKİNCİ YASA VERİMİ, η_{II}

$$\eta_{II} = \frac{\eta_{\text{Isıl}}}{\eta_{\text{Isıl,tr}}} \quad (\text{ısı makinaları})$$

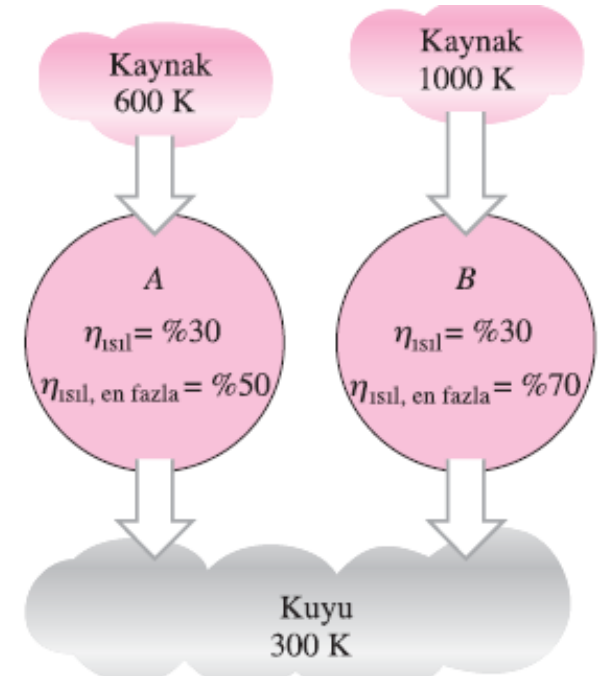
$$\eta_{II} = \frac{W_y}{W_{tr}} \quad (\text{iş üreten makinalar})$$

$$\eta_{II} = \frac{W_{tr}}{W_y} \quad (\text{iş tüketen makinalar})$$

$$\eta_{II} = \frac{\text{COP}}{\text{COP}_{tr}} \quad (\text{soğutma makinası ve ısı pompası})$$



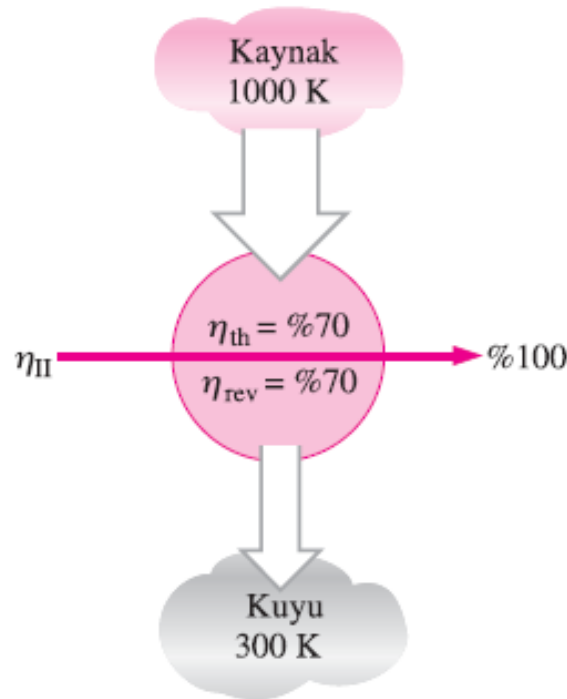
İkinci yasa verimi, bir makinenin ısı veriminin tersinir koşullarda sahip olabileceği ısı verime oranıdır.



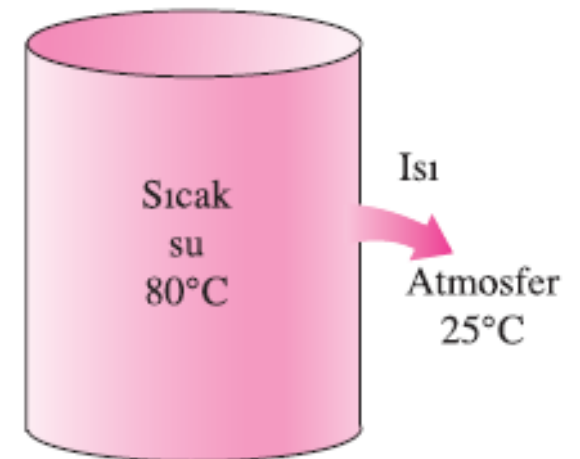
İki ısı makinesinin ısı verimleri eşit fakat sahip olabilecekleri en yüksek ısı verim farklı olabilir.

İkinci yasa veriminin genel tanımı

$$\eta_{II} = \frac{\text{Elde edilen ekserji}}{\text{Sağlanan ekserji}} = 1 - \frac{\text{Ekserji yok oluşu}}{\text{Sağlanan ekserji}}$$



Tüm tersinir makinelerin ikinci yasa verimi % 100'dür.



Doğal biçimde meydana gelen işlemlerin ikinci yasa verimleri potansiyel enerjinin hiçbiri geri kazanılamazsa sıfırdır.

Örnek-1

12 m çapında döner kanadı olan bir rüzgar türbini, rüzgarın sürekli olarak 10 m/s hız ile estiği bir bölgede kurulmak istenmektedir. Rüzgar türbini tarafından üretilebilecek en fazla gücü hesaplayınız?

$$K_e = 1/2 \cdot V^2 = (10^2 / 2) \cdot (1/1000) = 0.05 \text{ kJ/kg}$$

$$m = d \cdot V \cdot A = 1.18 \text{ kg/m}^3 \cdot (3.14 / 4) \cdot 12^2 \cdot 10 \text{ m/s} = 1335 \text{ kg/s}$$

$$\text{Güç} = m \cdot k_e = 0.05 \cdot 1335 = 66.8 \text{ kW bulunur.}$$

Örnek-2

Sürekli olarak 1100 K sıcaklıkta ve 3000 kW güçte ısı geçişi yapabilen bir fırındaki **ekserji akış hızını** hesaplayınız? Çevre sıcaklığı: 25 oC

Max. ısı verim = tersinir verim = $1 - (T_L / T_H)$

$$1 - 298 / 1100 = 0.729$$

Max. Isıl verim = Tersinir yapılan iş = Maksimum ısı verim * Q_g
 $= 0.729 * 3000 = 2187 \text{ kW}$

3000 kW = Toplam enerji

2187 kW = Tersinir iş olduğu taktirde maksimum oranda elde edilebilecek iş

$3000 - 2187 = 813 \text{ kW} = \text{Kullanılamayan}$ enerji (Tersinir bir ısı makinası ile dahi işe dönüştürülemeyen kısım)

Yararlı iş değeri : Bilgi yok

Örnek-3

Bir ısı makinası 1200 K sıcaklıktaki bir kaynaktan 500 kJ/s akımında ısı almakta ve 300 K sıcaklığındaki bir ortama ısı vermektedir. Isı makinesinin çıkış gücü 180 kW değerindedir. Tersinir gücü, tersinmezlik miktarını ve 2. yasa verimini hesaplayınız?

$$\text{Max.ısı verim} = \text{tersinir verim} = 1 - (T_L/T_H) = 1 - 300/1200 = 0.75$$

$$W_{\text{tersinir}} = \text{Tersinir verim} * Q_g = 0.75 * 500 = 375 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} \text{Tersinmezlik miktarı} &= \text{Tersinir olarak üretilen güç} - \text{Gerçekte üretilen güç} \\ &= 375 - 180 = 195 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\text{2.Yasa verimi} = (180 / 375) = 0.48$$

Örnek 3 (özet)

500 kW=Gelen enerji değeri

375 kW = Gelen enerji ile üretilebilecek maksimum güç.

195 kW= Tersinmezlikler sonucu işlem sırasında kaybolan güç

125 kW = $500-375$ = Tersinmezliklerle ilgili olmayan ve 300 K sıcaklığındaki çevre ortama verilmesi zorunlu olan güç.

180 kW = Yararlı güç

Örnek -4

Bir ısı makinası 1500 K sıcaklıktaki bir kaynaktan ısı almakta ve 320 K sıcaklığındaki bir ortama ısı vermektedir. Sıcak kaynaktan makineye geçen ısı miktarı 700 kJ/s dir. Isı makinesinin çıkış gücü 320 kW değerindedir. Doğal çevre sıcaklığı 25 oC olduğuna göre; Tersinir gücü, tersinmezlik miktarını ve 2. yasa verimini hesaplayınız?

$$\text{Max.ısı verim} = \text{tersinir verim} = 1 - (T_L/T_H) = 1 - 298/1500 = 0.801$$

$$W_{\text{tersinir}} = \text{Tersinir verim} \cdot Q_g = 0.801 \cdot 700 = 560.9 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} \text{Tersinmezlik miktarı} &= \text{Tersinir olarak üretilen güç} - \text{Gerçekte üretilen güç} \\ &= 560.9 - 320 = 240.9 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\text{2.Yasa verimi} = W_{\text{net}} / W_{\text{net,tersinir}} = (320 / 560.9) = 0.57$$

Örnek-4 (Özet)

700 kW=Gelen enerji değeri

560.9 kW = Gelen enerji ile üretilebilecek maksimum güç.

240.9 kW= Tersinmezlikler sonucu işlem sırasında kaybolan güç

139.1 kW = $700 - 560.9$ = Tersinmezliklerle ilgili olmayan ve 300 K sıcaklığındaki çevre ortama verilmesi zorunlu olan güç.

320 kW = Yararlı güç

Örnek 5

500 kg kütleli bir demir külçe başlangıçta 200 oC sıcaklıktadır. 27 oC ye soğuyabilmesi için 27 oC sıcaklıktaki bir çevreye bırakılarak ısı dengeye gelmesi sağlanmaktadır. Bu hal değişimi için tersinir işi ve tersinmezliği hesaplayınız? C_p demir külçe = 0.45 (kJ/kgK)

$$\text{Max. ısı verim} = \text{tersinir verim} = 1 - (T_L/T_H) = 1 - 300/473 = 0.365$$

$$W_{\text{tersinir}} = \int (Max. verim * Q_g) \quad \text{integral sonucu;}$$

$$W_{\text{tersinir}} = 500 \text{ kg} * 0.45 \text{ (kJ/kgK)} * [(473 - 300) + 300 * \ln(300 / 473)]$$

$$W_{\text{tersinir}} = 8191 \text{ kJ} \quad (\text{Not: Bu ifadenin çıkarılışı el yazması not içindedir.})$$

$$Q_g = m C_p \Delta T = 500 * 0.45 * (473 - 300) = 38925 \text{ kJ}$$

$$\text{Tersinmezlik} = W_{\text{tersinir}} - W_{\text{yararlı}} = 8191 - 0 = 8191 \text{ kJ}$$

Örnek 5 (Özet)

38925 kJ=Gelen enerji değeri

8191 kJ = Gelen enerji ile üretilebilecek maksimum güç.

8191 kJ = Tersinmezlikler sonucu işlem sırasında kaybolan güç

30734 kJ = $38925 - 8191$ = Tersinmezliklerle ilgili olmayan ve 300 K sıcaklığındaki çevre ortama verilmesi zorunlu olan güç.

0 kJ = Yararlı güç

Örnek 6

200 oC sıcaklıktaki 500 kg demir külçe dış ortam sıcaklığının 5 oC olduğu bir günde bir binayı 27 oC sıcaklıkta tutmak için kullanılacaktır. Demir külçenin 27 oC sıcaklığa kadar soğuması sırasında binaya verilebilecek en fazla ısı miktarını hesaplayınız?

$$1-300/473 = 0.365$$

$$Q_g = mC \cdot \Delta T = 500 * 0.45 * (473 - 300) = 38925 \text{ kJ}$$

$$W_{\text{tersinir}} = \int (Max. \text{ verim} * Q_g) \quad \text{integral sonucu;}$$

$$W_{\text{tersinir}} = 500 \text{ kg} * 0.45 \text{ (kJ/kgK)} * [(473 - 300) + 300 * \ln(300 / 473)]$$

$$W_{\text{tersinir}} = 8191 \text{ kJ} \quad (\text{Not: Bu ifadenin çıkarılışı bir önceki el yazması not içindedir.})$$

$$COIP_{\text{carnot}} = 1/(1-T_L/T_H) = 1/(1-278/300) = 13.6$$

Isı pompası iş olarak ürettiği miktarın 13.6 katını binaya ısı olarak verebilir.

Örnek-6 (Özet)

$8191 \cdot 13.6 = 111398 \text{ kJ}$ iç ortama ısı verir

$30734 \text{ kJ} = 38925 - 8191 =$ Tersinmezliklerle ilgili olmayan ve 300 K sıcaklığındaki çevre ortama verilmesi zorunlu olan güç idi

$30734 + 111398 = 142132 \text{ kJ}$ binanın iç ortamına verilen enerji

38925 kJ odaya verilen toplam ısı

$8191 \text{ kJ} =$ Tersinmezlikler sonucu işlem sırasında kaybolan güç

KARŞILAŞTIRMA

KAPALI SİSTEMLER

kütle, m, kg

iç enerji , ΔU , kJ/kg

$$e = \Delta U + V^2/2 + gz \text{ (kJ/kg)}$$

T1Y

$$E_g - E_ç = \Delta U + V^2/2 + gz \text{ (kJ/kg)}$$

T2Y

S (kJ/kg)

AÇIK SİSTEMLER

zaman, t, s

Kütlesel debi, m, kg/s

entalpi , ΔH , kJ/kg

$$\theta = \Delta H + V^2/2 + gZ$$

T1Y

$$Q_g + W_g + m(h_g + V_g^2/2 + gZ_g) = \\ Q_ç + W_ç + m(h_ç + V_ç^2/2 + gZ_ç) \text{ kJ/s} = \text{kW}$$

T2Y

S (kJ/s)

KAPALI SİSTEMLERDE EKSERJİ

0=Çevre nin değerleri (ölü hal değerleri)

1=Başlangıç hali

2=Son hali

Δ =Değişim

$\emptyset$ =birim kütle başına ekserji değeri (kJ/kg)

$\emptyset_1$ =birim kütle başına başlangıçtaki ekserji değeri (kJ/kg)

$\emptyset_2$ =birim kütle başına son durumdaki ekserji değeri (kJ/kg)

$\emptyset_1 = (U_1 - U_0) + P_0(V_1 - V_0) - T_0(S_1 - S_0) + \frac{V_1^2}{2} + gZ_1$ (kJ/kg)

$\emptyset_2 = (U_2 - U_0) + P_0(V_2 - V_0) - T_0(S_2 - S_0) + \frac{V_2^2}{2} + gZ_2$ (kJ/kg)

$\Delta\emptyset = \emptyset_2 - \emptyset_1 = \text{Birim kütle başına ekserji değişimi}$

KAPALI SİSTEMLERDE EKSERJİ

X =Tüm sistem için ekserji değeri (kJ)

X_1 =Tüm sistem için başlangıçtaki ekserji değeri (kJ)

X_2 =Tüm sistem için son durumdaki ekserji değeri (kJ)

$\Delta X = X_2 - X_1$ = Kapalı bir sistemin tüm ekserji değişimi (kJ)

$$\Delta X = X_2 - X_1 = m(\phi_2 - \phi_1) \quad (\text{kJ})$$

$$\Delta X = m[(U_2 - U_1) + P_o(V_2 - V_1) - T_o(S_2 - S_1) + (V_2^2 - V_1^2)/2 + g(Z_2 - Z_1)]$$

BİR SİSTEMİN EKSERJİ DEĞİŞİMİ

Sabit Bir Kütlenin Ekserjisi: Kütle Akışı Olmayan Sistemlerin (veya Kapalı Sistemlerin) Ekserjisi

$$\underbrace{\delta E_g - \delta E_\varphi}_{\text{Isı iş ve kütle yoluyla net enerji geçişi}} = \underbrace{dE_{\text{sistem}}}_{\text{İç, kinetik potansiyel gibi enerjilerdeki değişim}}$$
$$- \delta Q - \delta W = dU$$

$$\delta W = P dV = (P - P_0) dV + P_0 dV = \delta W_{s,\text{yararlı}} + P_0 dV$$

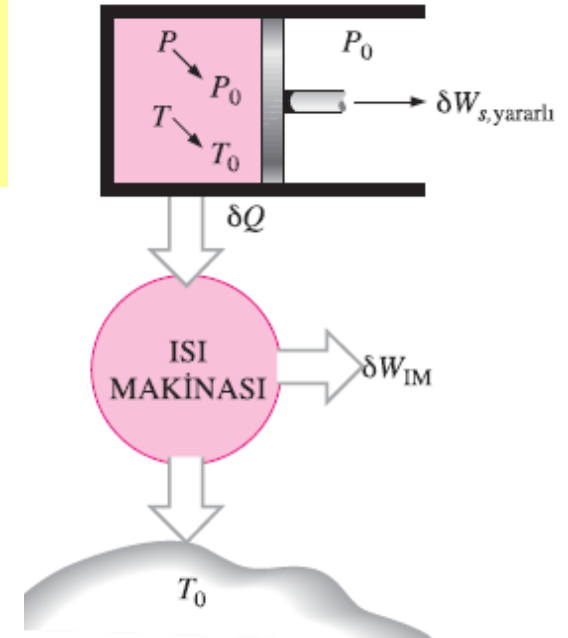
$$\delta W_{\text{IM}} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta Q = \delta Q - \frac{T_0}{T} \delta Q = \delta Q - (-T_0 dS) \rightarrow$$

$$\delta Q = \delta W_{\text{IM}} - T_0 dS$$

$$\delta W_{\text{toplam yararlı}} = \delta W_{\text{IM}} + \delta W_{s,\text{yararlı}} = -dU - P_0 dV + T_0 dS$$

$$X = (U - U_0) + P_0(V - V_0) - T_0(S - S_0) + m \frac{V^2}{2} + mgz$$

Kapalı bir sistemin ekserjisi



Belirli bir durumdaki belirli bir kütlenin ekserjisi, kütle çevresinin durumuna bir tersinir hal değişimine maruz kalırken üretilen yararlı iştir.

$$\phi = (u - u_0) + P_0(v - v_0) - T_0(s - s_0) + \frac{V^2}{2} + gz$$

Birim kütle için kapalı bir sistemin ekserjisi

$$= (e - e_0) + P_0(v - v_0) - T_0(s - s_0)$$

$$\Delta X = X_2 - X_1 = m(\phi_2 - \phi_1) = (E_2 - E_1) + P_0(V_2 - V_1) - T_0(S_2 - S_1)$$

$$= (U_2 - U_1) + P_0(V_2 - V_1) - T_0(S_2 - S_1) + m \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + mg(z_2 - z_1)$$

$$\Delta \phi = \phi_2 - \phi_1 = (u_2 - u_1) + P_0(v_2 - v_1) - T_0(s_2 - s_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)$$

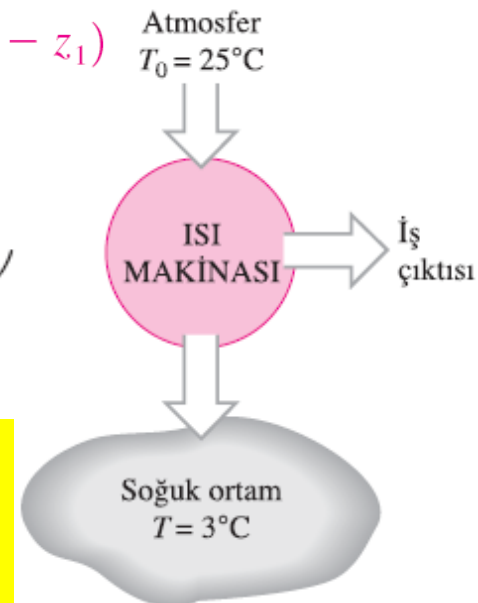
$$= (e_2 - e_1) + P_0(v_2 - v_1) - T_0(s_2 - s_1)$$

Bir sistemin özellikleri düzenli olmadığı zaman, sistemin ekserjisi

$$X_{\text{sistem}} = \int \phi \delta m = \int_V \phi \rho dV$$

Soğuk ortamın ekserjisi ona olan ısı geçişi tarafından iş üretilebildiğinde, aynı zamanda pozitif bir niceliktir.

Kapalı bir sistemin ekserji değişimi,



Enerji ve ekserji içeriği

Enerji:

$$e = u + \frac{V^2}{2} + gz$$

Durağan
kütle

Ekserji:

$$\phi = (u - u_0) + P_0(v - v_0) - T_0(s - s_0) + \frac{V^2}{2} + gz$$

(a) Durağan bir kütle (akış içermeyen)

(a) bir sabit kütle

Enerji:

$$\theta = h + \frac{V^2}{2} + gz$$

Akışkan
akımı

Ekserji:

$$\psi = (h - h_0) + T_0(s - s_0) + \frac{V^2}{2} + gz$$

(b) Kütle akışı (akım)

Örnek-1

200 m³ hacmindeki kapalı bir kaptaki 1 Mpa basınç ve 300 K sıcaklıkta sıkıştırılmış hava vardır. Çevre koşulları 100 kPa ve 300 K ise havadan sağlanabilecek iş potansiyelini hesaplayınız?

$$X_1 = m_1 \cdot \phi_1$$

$$PV = mRT \text{ ise; } m = PV/RT = 1000 \cdot 200 / (0.287 \cdot 300) = 2323 \text{ kg}$$

$$\phi_1 = (U_1 - U_0) + P_0(V_1 - V_0) - T_0(S_1 - S_0) + V_1^2/2 + gZ_1$$

$$U_1 = U_0 \text{ (Neden?)} \quad V_1^2/2 = 0 \quad ; \quad gZ_1 = 0$$

$$\phi_1 = P_0(V_1 - V_0) - T_0(S_1 - S_0)$$

Örnek-1 (devam)

$$V1=RT1/P1 \quad ; \quad V0=RT0/P0 \quad T1=T0 \text{ old. için;}$$

$$P0(V1 - V0) = P0(RT1/P1 - RT0/P0) = R \cdot T0(P0/P1 - 1)$$

Hatırlama: Önceki dersimizde;

Değişkenler V ve P ise; $\Delta S_{\text{sistem}} = S2-S1 = C_p \ln(V2 / V1) + C_v \ln(P2 / P1)$

Değişkenler V ve T ise; $\Delta S_{\text{sistem}} = S2-S1 = C_v \ln(T2 / T1) + R \ln(V2 / V1)$

Değişkenler T ve P ise; $\Delta S_{\text{sistem}} = S2-S1 = C_p \ln(T2 / T1) - R \ln(P2 / P1)$

Örneğimizde değişken basınç olduğu için;

$$(S1 - S0) = C_p \ln(T1/T0) - R \ln(P1/P0) = -R \ln(P1/P0) \text{ olur.}$$

Örnek -1 (devam)

$$T_0(S_1 - S_0) = -T_0 R \ln(P_1/P_0) \text{ olur.}$$

$$\emptyset_1 = P_0(V_1 - V_0) - T_0(S_1 - S_0) \text{ idi.}$$

$$\emptyset_1 = R \cdot T_0 \cdot (P_0/P_1 - 1) - (-T_0 R \ln(P_1/P_0)) = R T_0 (\ln(P_1/P_0) + P_0/P_1 - 1)$$

$$\emptyset_1 = R \cdot T_0 \cdot (\ln(P_1/P_0) + P_0/P_1 - 1)$$

$$X_1 = m \cdot \emptyset_1 = m \cdot R \cdot T_0 \cdot (\ln(P_1/P_0) + P_0/P_1 - 1)$$

$$X_1 = 2323 \text{ kg} \cdot (0.287 \cdot 300 \cdot \ln(1000 / 100) + 100/1000 - 1)$$

$$X_1 = 280525 \text{ kJ} = 281 \text{ MJ}$$

(200 m³ hacmindeki 1 Mpa basınç ve 300 K sıcaklıkta sıkıştırılmış havanın iş potansiyeli)

AÇIK SİSTEMLER İÇİN EKSERJİ

0=Çevre nin değerleri (ölü hal değerleri)

1=Başlangıç hali

2=Son hali

Δ =Değişim

ψ =birim kütle başına ekserji değeri (kJ/kg)

ψ_1 =birim kütle başına başlangıçtaki ekserji değeri (kJ/kg)

ψ_2 =birim kütle başına son durumdaki ekserji değeri (kJ/kg)

$\psi_1 = (H_1 - H_0) - T_0(S_1 - S_0) + V_1^2/2 + gZ_1$ (kJ/kg)

$\psi_2 = (H_2 - H_0) - T_0(S_2 - S_0) + V_2^2/2 + gZ_2$ (kJ/kg)

$\Delta \psi = \psi_2 - \psi_1 = (H_2 - H_1) - T_0(S_2 - S_1) + (V_2^2 - V_1^2)/2 + g(Z_2 - Z_1)$ (kJ/kg)

Bir Akışkan Akımının Ekserjisi: Akış Ekserjisi

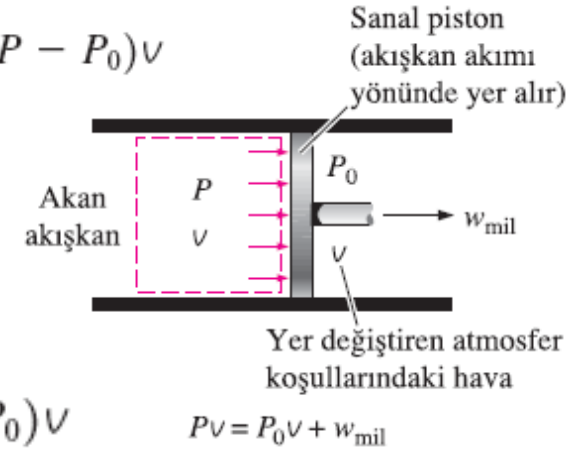
$$x_{\text{akan akışkan}} = x_{\text{akmayan akışkan}} + x_{\text{akış}}$$

(8-21)

$$= (u - u_0) + P_0(v - v_0) - T_0(s - s_0) + \frac{V^2}{2} + gz + (P - P_0)v$$

$$= (u + Pv) - (u_0 + P_0v_0) - T_0(s - s_0) + \frac{V^2}{2} + gz$$

$$= (h - h_0) - T_0(s - s_0) + \frac{V^2}{2} + gz$$



Akış enerjisinin ekserjisi

$$x_{\text{akış}} = Pv - P_0v = (P - P_0)v$$

$$Pv = P_0v + w_{\text{mil}}$$

Akış ekserjisi

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + \frac{V^2}{2} + gz$$

Bir akışkanın ekserji değişimi

Akış enerjisi ile ilişkili ekserji akış kesitinde sanal bir piston tarafından verilen yararlı iştir.

$$\Delta\psi = \psi_2 - \psi_1 = (h_2 - h_1) + T_0(s_2 - s_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)$$

Enerji ve ekserji içeriği

Enerji:

$$e = u + \frac{V^2}{2} + gz$$

Durağan
kütle

Ekserji:

$$\phi = (u - u_0) + P_0(v - v_0) - T_0(s - s_0) + \frac{V^2}{2} + gz$$

(a) Durağan bir kütle (akış içermeyen)

Enerji:

$$h = k + \frac{V^2}{2} + gz$$

Akışkan
akımı

Ekserji:

$$\psi = (h - h_0) + T_0(s - s_0) + \frac{V^2}{2} + gz$$

(b) Kütle akışı (akım)

(b) bir akışkan akımı.

Örnek-2

Soğutucu akışkan R-134 a, 0.14 Mpa basınç ve -10 oC sıcaklıktan 0.8 Mpa basınç ve 50 oC sıcaklığa bir kompresör yardımı ile sürekli akışlı olarak sıkıştırılmaktadır. Çevre koşullarını 20 oC ve 95 kPa alarak bu hal değişimi sırasındaki ekserji değişimini ve soğutucunun her birim kütlesi için kompresöre sağlanması gereken en az iş girdisini hesaplayınız?

GİRİŞ: $P_1=0.14$ Mpa, $T_1= -10$ oC

$h_1=246.36$ kJ/kg $s_1=0.9724$ kJ/kgK

ÇIKIŞ: $P_2=0.8$ Mpa, $T_2= 50$ oC

$h_2=286.69$ kJ/kg $s_2=0.9802$ kJ/kgK

Örnek -2 (devam)

$$\Delta \psi = \psi_2 - \psi_1 = (h_2 - h_1) - T_0(S_2 - S_1) + (V_2^2 - V_1^2) / 2 + g(Z_2 - Z_1)$$

$$(V_2^2 - V_1^2) / 2 = 0 \quad ; \quad g(Z_2 - Z_1) = 0$$

$$\Delta \psi = \psi_2 - \psi_1 = (h_2 - h_1) - T_0(S_2 - S_1)$$

$$\Delta \psi = \psi_2 - \psi_1 = (286.69 - 246.36) - 293(0.9802 - 0.9724)$$

$\Delta \psi = 38 \text{ kJ/kg}$ ekserjisi artacaktır.

(R-134 a, 0.14 Mpa basınç ve -10 oC sıcaklıktan 0.8 Mpa basınç ve 50 oC sıcaklığa bir kompresör yardımı sıkıştırılınca meydana gelen ekserji değişiminin değeridir. Dikkat edilirse kompresör ekserji artışına sebep olur).

ISI, İŞ VE KÜTLE İLE EKSERJİ GEÇİŞİ

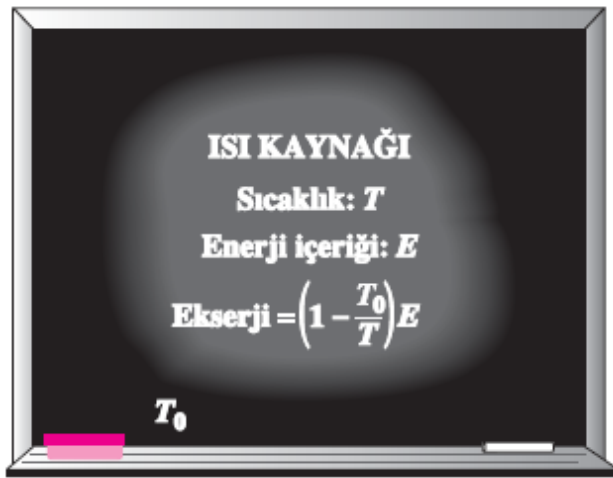
Isı Geçişi (Q) ile Ekserji Geçişi

$$X_{\text{ISI}} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q$$

Isı ile ekserji geçişi

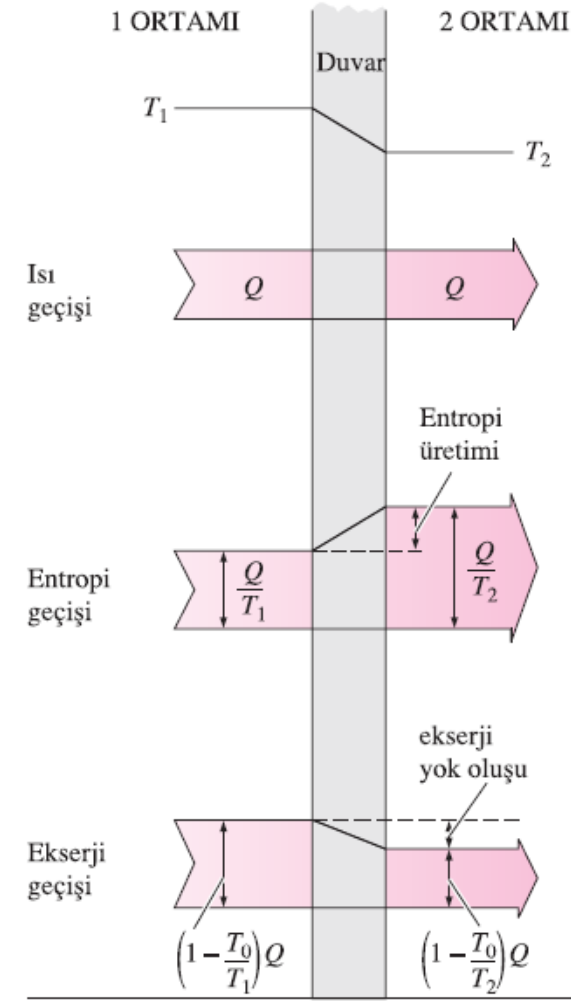
$$X_{\text{ISI}} = \int \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta Q$$

Sıcaklık sabit değılse



Sonlu bir sıcaklık farkında bir ısı geçişi sırasında ekserjinin yok oluşu ve ekserji geçişi

Carnot verimi $\eta_c = 1 - T_0/T$, T sıcaklığındaki bir ısı kaynağından geçen enerjinin T_0 sıcaklığındaki bir çevrede işe dönüşebilen kısmını gösterir.



İş (W) ile Ekserji Geçişi

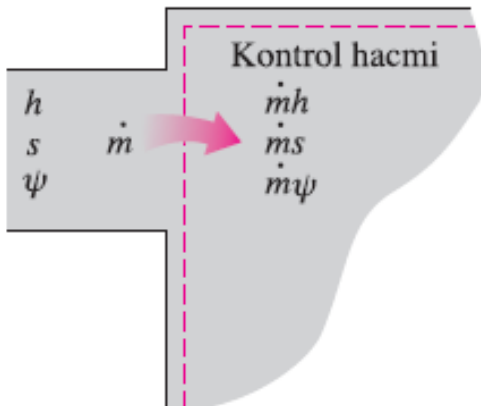
$$X_{i\dot{s}} = \begin{cases} W - W_{\text{çevre}} & (\text{sınır işi için}) \\ W & (\text{işin diğer şekilleri için}) \end{cases}$$

$$W_{\text{çevre}} = P_0(V_2 - V_1)$$

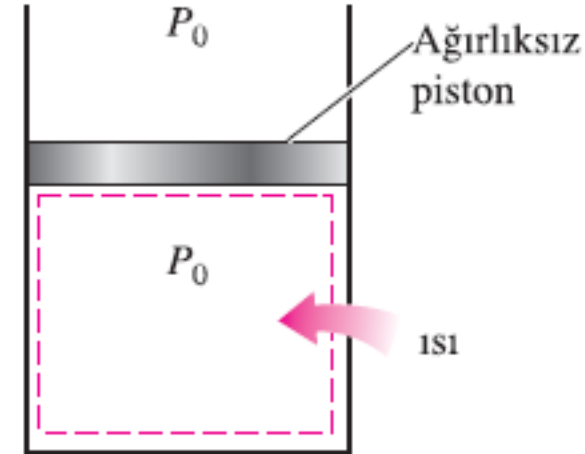
Kütle (m) ile Ekserji Geçişi

$$X_{\text{kütle}} = m\psi \quad \psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + \frac{V^2}{2} + gz$$

$$\dot{X}_{\text{kütle}} = \int_{A_k} \psi \rho V_n dA_k \quad \text{ve} \quad X_{\text{kütle}} = \int \psi \delta m = \int_{\Delta t} \dot{X}_{\text{kütle}} dt$$



Kütle enerji, entropi ve ekserji içerir ve böylece bir sisteme yada sistemden kütle akışına enerji, entropi ve ekserji geçişi tarafından eşlik edilir.



Sistemin basıncı atmosfer basıncında sabit kaldığında sınır işi ile ilişkili yararlı iş geçişi yoktur.

EKSERJİNİN AZALMASI İLKESİ VE EKSERJİ YOK OLUŞU

Enerji dengesi: $E_{giren}^0 - E_{çıkan}^0 = \Delta E_{sistem} \rightarrow 0 = E_2 - E_1$

Entropi dengesi: $S_{giren}^0 - S_{çıkan}^0 + S_{üretim} = \Delta S_{sistem} \rightarrow S_{üretim} = S_2 - S_1$

$$-T_0 S_{üretim} = E_2 - E_1 - T_0(S_2 - S_1)$$

$$\begin{aligned} X_2 - X_1 &= (E_2 - E_1) + P_0(V_2 - V_1)^0 - T_0(S_2 - S_1) \\ &= (E_2 - E_1) - T_0(S_2 - S_1) \end{aligned}$$

$$-T_0 S_{üretim} = X_2 - X_1 \leq 0$$

$$\Delta X_{ayrık} = (X_2 - X_1)_{ayrık} \leq 0$$

Isı, iş veya kütle geçişi yok.

Ayrık sistem

$$\Delta X_{ayrık} \leq 0$$

(veya $X_{yok olan} \geq 0$)

Ayrık sistem,
ekserjinin azalması
ilkesinin gelişiminde
göz önünde tutulur.

Bir hal değişimi boyunca ayrık bir sistemin ekserjisi her zaman azalır olarak veya sınırlı bir durum olan tersinir bir hal değişiminde sabit kalır. Başka bir deyişle, ekserji asla artmaz ve gerçek bir hal değişimi sırasında yok olur. Bu ekserjinin azalması ilkesi olarak bilinir.

Ekserji Yok Oluşu

$$X_{\text{yok olan}} = T_0 S_{\text{üretim}} \geq 0$$

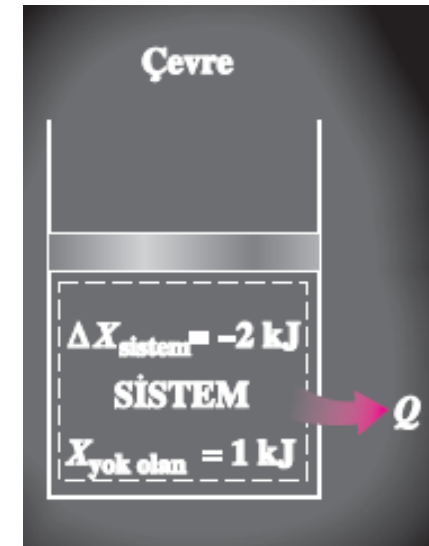
$$X_{\text{yok olan}} \begin{cases} > 0 & \text{Tersinmez hal değişimi} \\ = 0 & \text{Tersinir hal değişimi} \\ < 0 & \text{Olanaksız hal değişimi} \end{cases}$$

Yok olan ekserjinin, herhangi bir gerçek hal değişimi için pozitif bir niceliktir ve tersinir bir hal değişimi için sıfır olur.

Yok olan ekserji, kaybedilen iş potansiyelini temsil eder ve buna aynı zamanda tersinmezlik veya kayıp iş de denir.

Bir sistemin ekserji değişimi, hal değişimi, sırasında negatif olabilir mi?

Sistemden onun çevresine ısı transferini düşünün. Sistemin ve çevresinin ekserji değişimini nasıl karşılaştırırsınız?



Bir sistemin ekserji değişimi negatif olabilir, fakat ekserji yok oluşu negatif olamaz.

Daha önce çözülen örnek

Bir evin 30 cm kalınlığındaki 5mx7m'lik tuğla duvarının içinden sürekli ısı geçtiğini düşününüz. Dış ortam sıcaklığının 0 oC olduğu bir günde ev 27 oC sıcaklıkta tutuluyor. Tuğla duvarın iç yüzey sıcaklığı 20 oC ve dış yüzey sıcaklığı 5 oC olarak ölçülmüştür. Duvar boyunca ısı geçişi 1035 W değerindedir. **Duvar içindeki entropi üretimini ve bu ısı geçişi ile birlikte gerçekleşen toplam entropi üretimini bulunuz?**

Çözüm: $S_g - S_ç + \text{Süretim} = dS_{\text{sistem}}/dt$

Isı ısı entropi
kg kç üretimi

$$(Q/T)_g - (Q/T)_ç + \text{Süretim} = 0 \quad \text{ise ;} \quad (1035/293) - (1035 / 278) + \text{Süretim} = 0$$

$$\text{Süretim, duvar} = 0.191 \text{ W/K}$$

$$\text{Toplam entropi üretimi} \quad 1035/300 - 1035/273 + \text{Süretim} = 0$$

$$\text{Süretim, toplam} = 0.341 \text{ W/K} \quad \text{Süretim, toplam} > \text{Süretim, duvar}$$

$$0.341 > 0.191$$

Aradaki fark, duvarın her iki tarafında bulunan **film tabakalarının** oluşturmuş olduğu hava katmanlarının dirençleri yüzündendir.

Bir evin 30 cm kalınlığındaki 5mx7m'lik tuğla duvarının içinden sürekli ısı geçtiğini düşününüz. Dış ortam sıcaklığının 0 oC olduğu bir günde ev 27 oC sıcaklıkta tutuluyor. Tuğla duvarın iç yüzey sıcaklığı 20 oC ve dış yüzey sıcaklığı 5 oC olarak ölçülmüştür. Duvar boyunca ısı geçişi 1035 W değerindedir. **Duvar içindeki a) ekserji yok oluş akımını ve b) bu ısı geçişi ile birlikte gerçekleşen toplam ekserji yok oluş akımını bulunuz?**

$$X_g - X_{\dot{c}} - X_{\text{yok olan}} = dX_{\text{sistem}}/dt = 0$$

Isı Isı Birim zamanda
İş iş ekserji yok oluşu
kg kç

$$\begin{aligned} \text{a) } Q(1-T_o/T)_g - Q(1-T_o/T)_{\dot{c}} - X_{\text{yok olan}} &= 0 \quad \text{ise ;} \\ 1035(1-273/293) - 1035(1-273/278) - X_{\text{yok olan}} &= 0 \\ X_{\text{yok olan}} &= 52 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } X_{\text{yok olan, toplam}} &= 1035(1-273/300) - 1035(1-273/273) = 93.2 \text{ W} \\ 93.2 - 52 &= 41.2 \text{ W} \end{aligned}$$

İş (W) ile Ekserji Geçişi

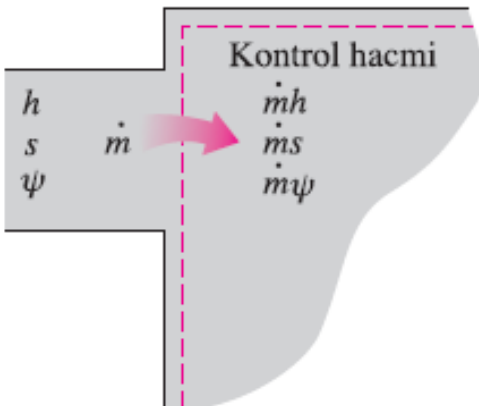
$$X_{i\dot{s}} = \begin{cases} W - W_{\text{çevre}} & (\text{sınır işi için}) \\ W & (\text{işin diğer şekilleri için}) \end{cases}$$

$$W_{\text{çevre}} = P_0(V_2 - V_1)$$

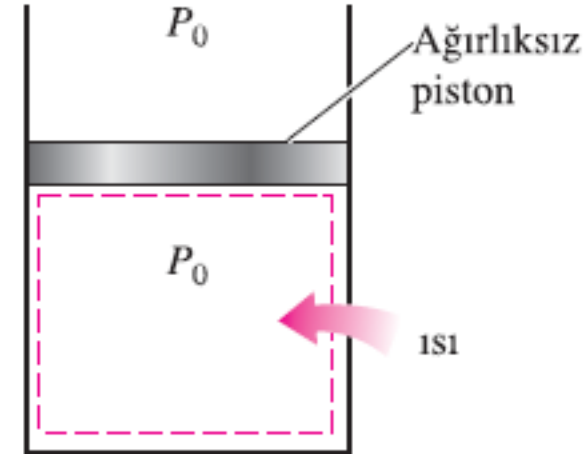
Kütle (m) ile Ekserji Geçişi

$$X_{\text{kütle}} = m\psi \quad \psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + \frac{V^2}{2} + gz$$

$$\dot{X}_{\text{kütle}} = \int_{A_k} \psi \rho V_n dA_k \quad \text{ve} \quad X_{\text{kütle}} = \int \psi \delta m = \int_{\Delta t} \dot{X}_{\text{kütle}} dt$$



Kütle enerji, entropi ve ekserji içerir ve böylece bir sisteme yada sistemden kütle akışına enerji, entropi ve ekserji geçişi tarafından eşlik edilir.



Sistemin basıncı atmosfer basıncında sabit kaldığında sınır işi ile ilişkili yararlı iş geçişi yoktur.

EKSERJİNİN AZALMASI İLKESİ VE EKSERJİ YOK OLUŞU

Enerji dengesi: $E_{giren}^0 - E_{çıkan}^0 = \Delta E_{sistem} \rightarrow 0 = E_2 - E_1$

Entropi dengesi: $S_{giren}^0 - S_{çıkan}^0 + S_{üretim} = \Delta S_{sistem} \rightarrow S_{üretim} = S_2 - S_1$

$$-T_0 S_{üretim} = E_2 - E_1 - T_0(S_2 - S_1)$$

$$\begin{aligned} X_2 - X_1 &= (E_2 - E_1) + P_0(V_2 - V_1)^0 - T_0(S_2 - S_1) \\ &= (E_2 - E_1) - T_0(S_2 - S_1) \end{aligned}$$

$$-T_0 S_{üretim} = X_2 - X_1 \leq 0$$

$$\Delta X_{ayrık} = (X_2 - X_1)_{ayrık} \leq 0$$

Isı, iş veya kütle geçişi yok.

Ayrık sistem

$$\Delta X_{ayrık} \leq 0$$

(veya $X_{yok olan} \geq 0$)

Ayrık sistem,
ekserjinin azalması
ilkesinin gelişiminde
göz önünde tutulur.

Bir hal değişimi boyunca ayrık bir sistemin ekserjisi her zaman azalır olarak veya sınırlı bir durum olan tersinir bir hal değişiminde sabit kalır. Başka bir deyişle, ekserji asla artmaz ve gerçek bir hal değişimi sırasında yok olur. Bu ekserjinin azalması ilkesi olarak bilinir.

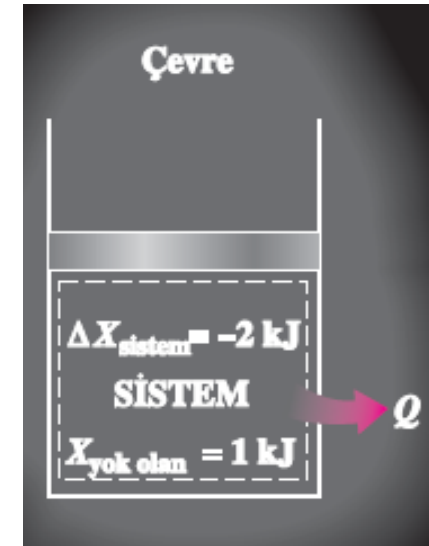
Ekserji Yok Oluşu

$$X_{\text{yok olan}} = T_0 S_{\text{üretim}} \geq 0$$

$$X_{\text{yok olan}} \begin{cases} > 0 & \text{Tersinmez hal değişimi} \\ = 0 & \text{Tersinir hal değişimi} \\ < 0 & \text{Olanaksız hal değişimi} \end{cases}$$

Yok olan ekserji, herhangi bir gerçek hal değişimi için pozitif bir niceliktir ve tersinir bir hal değişimi için sıfır olur.

Yok olan ekserji, kaybedilen iş potansiyelini temsil eder ve buna aynı zamanda tersinmezlik veya kayıp iş de denir.



Bir sistemin ekserji değişimi negatif olabilir, fakat ekserji yok oluşu negatif olamaz.

Sistemden onun çevresine ısı transferini düşünün. Sistemin ve çevresinin ekserji değişimini nasıl karşılaştırırsınız?

Örnek: Buharın genişlemesi ile ekserjinin yok oluşu

Bir piston-silindir düzeneği 1 Mpa basınç ve 300 oC sıcaklıkta 0.05 kg buhar içermektedir. Buhar iş yaparak son hali olan 200 kPa basınç ve 150 oC sıcaklığa genişlemektedir. Sistemden yakın çevreye olan ısı kaybı 2 kJ dür. Çevre sıcaklığı 25 oC ve basıncı 100 kPa old. göre;

- a) Buharın ilk ve son haldeki ekserjisini bul?
- b) Buharın ekserji değişimini bul?
- c) Ekserji yok oluşunu bul?
- d) 2. yasa verimliliğini hes?

1.hal: 1 Mpa, 300 oC ise; $u_1=2793.7$ kJ/kg ; $v_1= 0.25799$ m³/kg ; $s_1=7.1246$ kJ/kgK

2.hal: 200 kpa, 150 oC ise; $u_2=2577.1$ kJ/kg ; $v_2= 0.95986$ m³/kg ; $s_2=7.2810$ kJ/kgK

ÖLÜ HAL: $P_o=100$ kPa ; $T_o=25$ oC için;

$u_o=u_f=104.83$ kJ/kg ; $v_o=v_f= 0.00103$ m³/kg ; $s_o=s_f=0.3672$ kJ/kgK

a)

$$X_1 = \text{İlk hal} = m [(u_1 - u_o) - T_o (s_1 - s_o) + P_o (v_1 - v_o)]$$

$$X_1 = 0.05 [(2793.7 - 104.83) - 298 (7.1246 - 0.3672) + 100 (0.25799 - 0.00103)]$$

$$X_1 = 35 \text{ kJ}$$

$$X_2 = \text{Son hal} = m [(u_2 - u_o) - T_o (s_2 - s_o) + P_o (v_2 - v_o)]$$

$$X_2 = 0.05 [(2577.1 - 104.83) - 298 (7.2810 - 0.3672) + 100 (0.95986 - 0.00103)]$$

$$X_2 = 25.4 \text{ kJ}$$

$$\text{b) } \Delta X = 25.4 - 35 = -9.6 \text{ kJ}$$

c) Toplam ekserji yok oluşu :

$$\begin{array}{lll} X_{\text{giren}} - X_{\text{çıkan}} - X_{\text{yok olan}} & = & \Delta X_{\text{sistem}} \\ \text{Isı(-)} \quad \text{ısı(+)} \quad \text{Ekserji yok} & & \text{ekserjideki değişim} \\ \text{İş(-)} \quad \text{iş(+)} \quad \text{oluşu} & & \\ \text{k.g.(-)} \quad \text{k.ç.(-)} & & \end{array}$$

$$-X_{\text{ısı çıkan}} - X_{\text{iş çıkan}} - X_{\text{yok olan}} = \Delta X_{\text{sistem}} = X_2 - X_1$$

$$-X_{\text{yok olan}} = X_2 - X_1 + X_{\text{ısı çıkan}} + X_{\text{iş çıkan}}$$

$$X_{\text{yok olan}} = X_1 - X_2 - X_{\text{iş çıkan}} - X_{\text{ısı çıkan}}$$

$$X_{\text{yok olan}} = X_1 - X_2 - W_{y,\text{çıkan}}$$

$$W_{y,\text{çıkan}} = ? \quad W_{y,\text{çıkan}} = T_1 Y \text{ ile bulunur. } W_{y,\text{çıkan}} = W_{s,\text{çıkan}} - W_{\text{çevre}}$$

$$E_{giren} - E_{çıkan} = \Delta U + V^2/2 + gZ$$

Isı(-) ısı(+) enerjideki değişim

İş(-) iş(+)

k.g.(-) k.ç.(-)

$$- Q_{çıkan} - W_{s,çıkan} = \Delta U$$

$$- W_{s,çıkan} = \Delta U + Q_{çıkan}$$

$$W_{s,çıkan} = -\Delta U - Q_{çıkan}$$

$$W_{s,çıkan} = -Q_{çıkan} - m(u_2 - u_1)$$

$$W_{s,çıkan} = -2 - 0.05 \cdot (2577.1 - 2793.7) = 8.8 \text{ kJ} \quad (\text{Toplam sınır işi})$$

$$W_{y,\text{çıkan}} = W_{s,\text{çıkan}} - W_{\text{çevre}} =$$

$$W_{y,\text{çıkan}} = W_{s,\text{çıkan}} - P_o.m.(v_2 - v_1)$$

$$= 8.8 - 100 \cdot 0.05 \cdot (0.9599 - 0.25799) = 5.3 \text{ kJ}$$

$$X_{\text{yok olan}} = X_1 - X_2 - W_{y,\text{çıkan}} \text{ idi.}$$

$$X_{\text{yok olan}} = 35 - 25.4 - 5.3 = 4.3 \text{ kJ}$$

$$\text{II. YOL : } X_{\text{yok olan}} = T_o \cdot \text{Süretim}$$

$$= T_o \cdot (S_{\text{genleşme}} + S_{\text{ısı}})$$

$$= T_o \cdot (m(s_2 - s_1) + Q/T_o)$$

$$= 298 \cdot 0.05 \cdot (7.2810 - 7.1246) + 2/298 = 4.3 \text{ kJ}$$

d) II. Yasa verimi = Geri kazanılan ekserji / Elde edilen ekserji =

$$5.3 / (35 - 25.4) = 0.552$$

Yani buharın iş potansiyelinin %44.8 i hal değişimi sırasında harcanmaktadır.

Örnek : Bir gazın karıştırılması sonucu ekserji yok oluşu

Yalıtılmış kapalı bir kaptaki 20 oC sıcaklık ve 150 kPa basınçta 0.9 kg hava bulunmaktadır. Kap içinde bulunan döner kanat sıcaklık 55 oC oluncaya kadar dış güç kaynağı ile döndürülüyor. Çevre hava sıcaklığı 20 oC olduğuna göre;

a)Ekserji yok oluşunu b)Tersinir işi hesaplayınız?

Hava ideal gaz kabul edilebilir.

a)Xyok olan = $T_o \cdot \text{Süretim}$

$$\begin{array}{llll} \text{Sgiren} - \text{Sçıkan} + \text{Süretim} & = & \Delta S_{\text{system}} & \\ \text{Isı(-)} & \text{ısı(-)} & \text{Entropi} & \text{entropideki değişim} \\ \text{k.g.(-)} & \text{k.ç.(-)} & \text{üretimi} & \end{array}$$

$$\begin{aligned}\text{Süretim} = \Delta S_{\text{sistem}} &= m \cdot C_v \cdot \ln(T_2/T_1) + R \ln V_2/V_1 \\ &= m \cdot C_v \cdot \ln(T_2/T_1)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Xyok olan} &= T_0 \cdot \text{Süretim} = T_0 \cdot m \cdot C_v \cdot \ln(T_2/T_1) \\ &= 293 \cdot 0.9 \cdot 0.718 \cdot \ln(328/293) = 21.4 \text{ kJ}\end{aligned}$$

b)

$$X_{\text{giren}} - X_{\text{çıkan}} - X_{\text{yok olan}} = \Delta X_{\text{sistem}} = X_2 - X_1$$

Isı(-) ısı(-) Ekserji yok ekserjideki değişim

İş(+) iş(-) oluşu(=0)

k.g.(-) k.ç.(-)

$$W_{\text{tr,giren}} = X_2 - X_1$$

tr = tersinir

$$W_{tr,giren} = X_2 - X_1$$

$$W_{tr,giren} = (E_2 - E_1) + P_o(V_2 - V_1) - T_o(S_2 - S_1)$$

$$W_{tr,giren} = (U_2 - U_1) - T_o(S_2 - S_1)$$

$$W_{tr,giren} = m.C_v.(T_2 - T_1) - 21.4$$

$$W_{tr,giren} = 0.9 * 0.718 * (55 - 20) - 21.4 = 1.2 \text{ kJ}$$

Tüm tersinmezlikler giderilebilirse ve entropi üretimi olmaz ise 1.2 kJ enerji ile bu hal değişimi gerçekleştirilebilir.

$$E_{giren} - E_{çıkan} = \Delta U + V^2/2 + gZ$$

Isı(-) ısı(-) (enerjideki değişim)

İş(+) iş(-)

k.g.(-) k.ç.(-)

$$\begin{aligned} W_{mil} = \Delta U &= m \cdot (u_2 - u_1) = m \cdot C_v \cdot (T_2 - T_1) \\ &= 0.9 \cdot 0.718 \cdot (55 - 20) = 22.6 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Hal değişimi sırasında 22.6 kJ değerinde iş yapılmış fakat tersinmezliklerden dolayı 21.4 kJ değerinde ekserji yok olmuştur.

Örnek : Tersinmez ısı geçişi sebebi ile olan ekserji azalması

Başlangıç sıcaklığı 350 oC olan 5 kg ağırlığındaki demir külçe, içinde 100 kg su ve sıcaklığı 30 oC olan yalıtılmış bir kap içine bırakılmaktadır. Çevre sıcaklığını 20 oC ve basıncı 100 kPa alarak;

- a) Son durumdaki denge sıcaklığını
- b) Birleşik sistemin ilk ve son haldeki ekserjisini
- c) Hal değişimi sırasında yitirilen iş potansiyelinin değerini bul?

$C_{\text{demir külçe}} = 0.45 \text{ kJ/kgK}; \quad C_{\text{su}} = 4.18 \text{ kJ/kgK}$

SİSTEM: DEMİR KÜLÇE + SU = BİRLEŞİK SİSTEM

$$E_{\text{giren}} - E_{\text{çıkan}} = \Delta U + V^2/2 + gZ$$

Isı(-) ısı(-) enerjideki değişim

İş(-) iş(-)

k.g.(-) k.ç.(-)

$$0 = \Delta U_{\text{demir külçe}} + \Delta U_{\text{su}} = m \cdot C_v \cdot (T_{\text{son}} - T_{\text{ilk}}) + m_{\text{su}} \cdot C_v \cdot (T_{\text{son}} - T_{\text{ilk}})$$

$$0 = \Delta U_{\text{demir külçe}} + \Delta U_{\text{su}} =$$

$$0 = m \cdot C_v \cdot (T_{\text{son}} - T_{\text{ilk}}) + m_{\text{su}} \cdot C_v \cdot (T_{\text{son}} - T_{\text{ilk}})$$

$$0 = 5 \cdot 0.45 \cdot (T_{\text{son}} - 350) + 100 \cdot 4.18 \cdot (T_{\text{son}} - 30)$$

$$T_{\text{son}} = 31.7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

X = Kütleye bağlı bir özelliktir.

$$X = m[(U - U_0) + P_0(V_2 - V_1) - T_0(S - S_0) + (V^2)/2 + gZ]$$

$$X = m[(U_2 - U_1) - T_0(S_2 - S_1)]$$

$$X = m \cdot C \cdot (T - T_0) - T_0 \cdot m \cdot C \cdot \ln(T/T_0)$$

$$X = m \cdot C \cdot (T - T_0 - T_0 \cdot \ln(T/T_0))$$

$$X = m \cdot C \cdot (T - T_o - T_o \cdot \ln(T/T_o))$$

$$X1(\text{demir külçe}) = 5 \cdot 0.45 \cdot (623 - 293 - 293 \cdot \ln(623/293)) = 245.2 \text{ kJ}$$

$$X1(\text{su}) = 100 \cdot 0.418 \cdot (303 - 293 - 293 \cdot \ln(303/293)) = 69.8 \text{ kJ}$$

$$X1(\text{toplam}) = X1(\text{demir külçe}) + X1(\text{su}) = 245.2 + 69.8 = \underline{\underline{315 \text{ kJ}}}$$

$$X2(\text{demir külçe}) = 5 \cdot 0.45 \cdot (304.7 - 293 - 293 \cdot \ln(304.7/293)) = 0.5 \text{ kJ}$$

$$X2(\text{su}) = 100 \cdot 0.418 \cdot (304.7 - 293 - 293 \cdot \ln(304.7/293)) = 95.1 \text{ kJ}$$

$$X2(\text{toplam}) = X2(\text{demir külçe}) + X2(\text{su}) = 0.5 + 95.1 = \underline{\underline{95.6 \text{ kJ}}}$$

Tersinmez ısı geçişi sebebi ile 315 kJ olan ekserji değeri 95.6 kJ'a düşmüştür.

Yitirilen iş potansiyeli = Ekserji yok oluşu

$X_{\text{yok olan}} = T_o \cdot \text{Süretim}$

$X_{\text{giren}} - X_{\text{çıkan}} - X_{\text{yok olan}} = \Delta X_{\text{sistem}} = X_2 - X_1$

Isı(-) ısı(-) Ekserji yok ekserjideki değişim

İş(-) iş(-) oluşu

k.g.(-) k.ç.(-)

$-X_{\text{yok olan}} = X_2 - X_1$ ise ; $X_{\text{yok olan}} = X_1 - X_2 = 315 - 95.6 = 219.4 \text{ kJ}$

Örnek=Bir gazın ısı geçişi sırasında ekserjide meydana gelen azalma

Sürtünmesiz bir piston-silindir düzeneğinde başlangıçta 400 K sıcaklık ve 350 kPa basınçta 0.01 m³ Argon gazı vardır. Argon gazına 1200 K sıcaklıktaki bir fırından ısı geçişi olmakta ve argon gazı hacmi 2 kat olacak şekilde izotermal halde genleşmektedir. Çevre 300 K sıcaklıkta ve 100 kPa basınçta. Çevre ile argon gazı arasında ısı geçişi yoktur.

a)Yararlı iş çıktısını b)Ekserji yok oluşunu c)Tersinir işi hesaplayınız?

Argon : $T_c=151 \text{ K}$, $P_c= 4.86 \text{ Mpa}$; $400 > 151$ ve $350 \text{ kPa} < 4.86 \text{ Mpa}$ old. için ideal gaz kabul edilebilir.

$$T_1=T_2 \text{ ve } V_2=2*V_1$$

$$W=W_s=P_1.V_1.\ln(V_2/V_1) = 350*0.01*\ln(0.02/0.01) = 2.43 \text{ kPa.m}^3 = 2.43 \text{ kJ}$$

$$W_{\text{çevre}}= P_o(V_2 - V_1) = 100 * (0.02 - 0.01) = 1 \text{ kJ}$$

$$W_{\text{yararlı}} = W_s - W_{\text{çevre}} = 2.43 - 1 = 1.43 \text{ kJ}$$

$$E_{giren} - E_{çıkan} = \Delta U + V^2/2 + gZ$$

Isı(+) ısı(-) (enerjideki değişim)

İş(-) iş(+)

k.g.(-) k.ç.(-)

$$Q_{giren} - W_{çıkan} = \Delta U = m.C_v.\Delta T = 0 \quad \text{ise;}$$

$$Q_{giren} = W_{çıkan} = 2.43 \text{ kJ}$$

b) $X_{yok} olan = T_o * \text{Süretim}$

$$\begin{array}{llll} \text{Sgiren} - \text{Sçıkan} + \text{Süretim} & = & \Delta S_{\text{sistem}} \\ \text{Isı(+)} & \text{ısı(-)} & \text{Entropi} & \text{entropideki değişim} \\ \text{k.g.(-)} & \text{k.ç.(-)} & \text{üretimi} & \end{array}$$

$$Q/TR + \text{Süretim} = \Delta S_{\text{sistem}} = Q/T_{\text{sistem}}$$

$$\text{Süretim} = Q \left(\frac{1}{T_{\text{sistem}}} - \frac{1}{TR} \right) = 2.43 * \left(\frac{1}{400} - \frac{1}{1200} \right) = 0.00405 \text{ kJ}$$

$$X_{yok} olan = 300 * 0.00405 = 1.22 \text{ kJ/K}$$

c)

$$X_{\text{giren}} - X_{\text{çıkan}} - X_{\text{yok olan}} = \Delta X_{\text{sistem}} = X_2 - X_1$$

Isı(+) ısı(-) Ekserji yok (ekserjideki değişim)

İş(-) iş(+) oluşu=0

k.g.(-) k.ç.(-)

$$(1 - T_o/T) * Q - W_{\text{tr,çıkan}} = X_2 - X_1 = (U_2 - U_1) + P_o(V_2 - V_1) - T_o(S - S_o)$$

$$-W_{\text{tr,çıkan}} = W_{\text{çevre}} - T_o * Q / T_{\text{sistem}} - (1 - T_o/T_R) * Q$$

$$W_{\text{tr,çıkan}} = T_o * Q / T_{\text{sistem}} - W_{\text{çevre}} + (1 - T_o/T_R) * Q$$

$$= 300 * 2.43 / 400 - 1 + (1 - 300/1200) * 2.43 = 2.65 \text{ kJ}$$

Tersinir olursa iş çıktısı 2.65 kJ olur. Halbuki 1.43 idi.

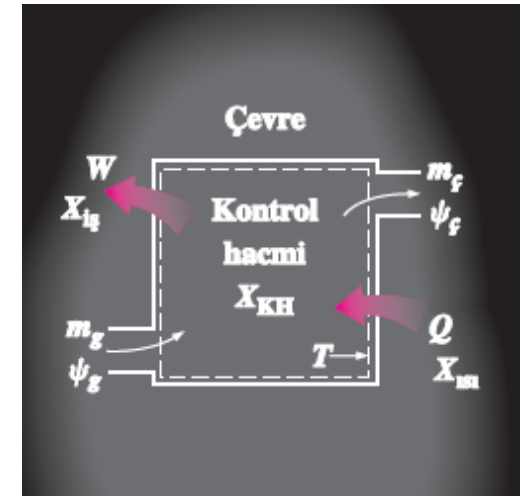
EKSERJİ DENGESİ: KONTROL HACİMLERİ

$$X_{\text{ısı}} - X_{\text{iş}} + X_{\text{kütle, giren}} - X_{\text{kütle, çıkan}} - X_{\text{yok olan}} = (X_2 - X_1)_{\text{KH}}$$

$$\sum \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) Q_k - [W - P_0(V_2 - V_1)] + \sum_g m\psi - \sum_{\text{ç}} m\psi - X_{\text{yok olan}} = (X_2 - X_1)_{\text{KH}}$$

$$\sum \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{Q}_k - \left(\dot{W} - P_0 \frac{dV_{\text{KH}}}{dt}\right) + \sum_g \dot{m}\psi - \sum_{\text{ç}} \dot{m}\psi - \dot{X}_{\text{yok olan}} = \frac{dX_{\text{KH}}}{dt}$$

Bir hal değişimi sırasında kontrol hacmi içerisindeki ekserji değişim miktarı, kontrol hacmi sınırı boyunca ısı, iş ve kütle akışı yoluyla oluşan net ekserji geçiş miktarından, kontrol hacmi sınırları içerisinde ekserji yok oluş miktarının çıkarılmasına eşittir.



Ekserji, ısı ve iş geçişi gibi kütle tarafından da kontrol hacmine yada kontrol hacminden transfer edilir.

Sürekli Akışlı Sistemler için Ekserji Dengesi

Uygulamada karşılaşılan türbinler, kompresörler, lüleler, yayıcılar, ısı değiştiriciler, borular, ve kanallar gibi kontrol hacimlerinin çoğu sürekli olarak çalışır ve böylece hacimlerinde olduğu gibi kütlelerinde, enerjilerinde, entropilerinde ve ekserji içeriklerinde hiçbir değişikliğe uğramazlar. Bu nedenle, bu tür sistemler için $dV_{CV}/dt = 0$ ve dX_{CV}/dt yazılabilir.

$$\text{Sürekli akış: } \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{Q}_k - \dot{W} + \sum_g \dot{m} \psi - \sum_{\text{ç}} \dot{m} \psi - \dot{X}_{\text{yok olan}} = 0$$

$$\text{Tek akım: } \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{Q}_k - \dot{W} + \dot{m}(\psi_1 - \psi_2) - \dot{X}_{\text{yok olan}} = 0$$

$$\psi_1 - \psi_2 = (h_1 - h_2) - T_0(s_1 - s_2) + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} + g(z_1 - z_2)$$

$$\text{Birim kütle: } \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) q_k - w + (\psi_1 - \psi_2) - x_{\text{yok olan}} = 0 \quad (\text{kJ/kg})$$



Sürekli akışlı bir sisteme ekserji transferi ondan ekserji transferine ve de ekserji yok oluşuna eşittir.

Tersinir İş, W_{tr}

Yukarıda verilen ekserji dengesi bağıntıları, ekserji yok oluşu sıfıra eşitlenerek, tersinir işi (W_{tr}) belirlemek için kullanılabilir. Bu durumda W işi, *tersinir iş haline gelir*.

Genel: $X_{\text{yok olan}} = 0$ olduğunda $W = W_{tr}$

Tek akım: $\dot{W}_{tr} = \dot{m}(\psi_1 - \psi_2) + \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{Q}_k \quad (\text{kW})$

Adyabatik, tek akım: $\dot{W}_{tr} = \dot{m}(\psi_1 - \psi_2)$

Ekserji yok oluşunun, sadece tersinir bir hal değişimi için sıfır olduğuna ve tersinir işin, türbinler gibi iş üreten düzenekler için en fazla iş çıktısını ve kompresörler gibi iş tüketen düzenekler için en az iş çıktısını temsil ettiğine dikkat edilmelidir.

Örnekler

Bir buhar türbininin ekserji analizi

$$\underbrace{\dot{X}_{\text{giren}} - \dot{X}_{\text{çıkan}}}_{\text{Birim zamanda ısı, iş ve kütle ile net ekserji geçişi}} - \underbrace{\dot{X}_{\text{yok olan}}}_{\text{Birim zamanda ekserji yok oluşu}} \xrightarrow{0 \text{ (tersinir)}} = \underbrace{dX_{\text{sistem}}/dt}_{\text{Birim zamanda ekserjideki değişim}} \xrightarrow{0 \text{ (strekli)}} = 0$$

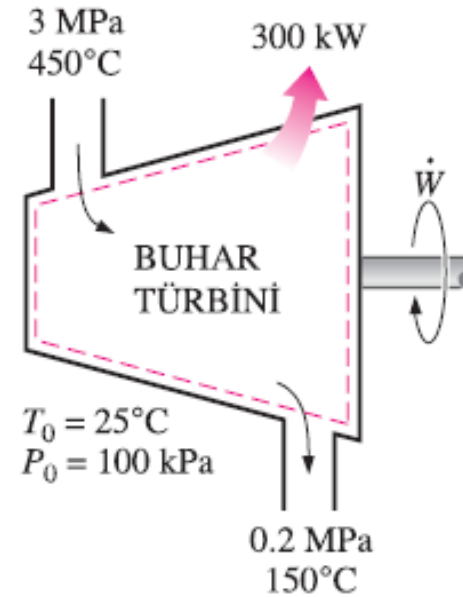
$$\dot{X}_{\text{giren}} = \dot{X}_{\text{çıkan}}$$

$$\dot{m}\psi_1 = \dot{W}_{\text{tr,çıkan}} + \dot{X}_{\text{ısı}}^0 + \dot{m}\psi_2$$

$$\begin{aligned} \dot{W}_{\text{tr,çıkan}} &= \dot{m}(\psi_1 - \psi_2) \\ &= \dot{m}[(h_1 - h_2) - T_0(s_1 - s_2) - \Delta ke^0 - \Delta pe^0] \end{aligned}$$

$$\eta_{\text{II}} = \frac{\dot{W}_{\text{çıkış}}}{\dot{W}_{\text{tr, çıkış}}}$$

$$\dot{X}_{\text{yok olan}} = \dot{W}_{\text{tr, çıkan}} - \dot{W}_{\text{çıkış}}$$



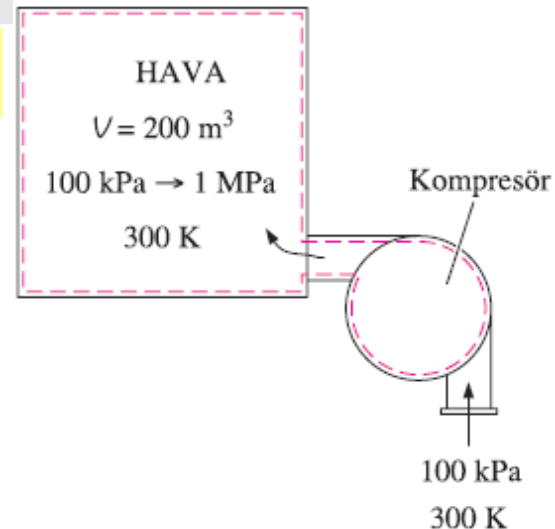
Bir doldurma işleminin ekserji dengesi

$$\underbrace{X_{\text{giren}} - X_{\text{çıkan}}}_{\text{Isı, iş ve kütle ile net ekserji geçişi}} - \underbrace{X_{\text{yok olan}}}_{\text{Ekserji yok oluşu}} \xrightarrow{0 \text{ (tersinir)}} = \underbrace{\Delta X_{\text{sistem}}}_{\text{Ekserjideki değişim}}$$

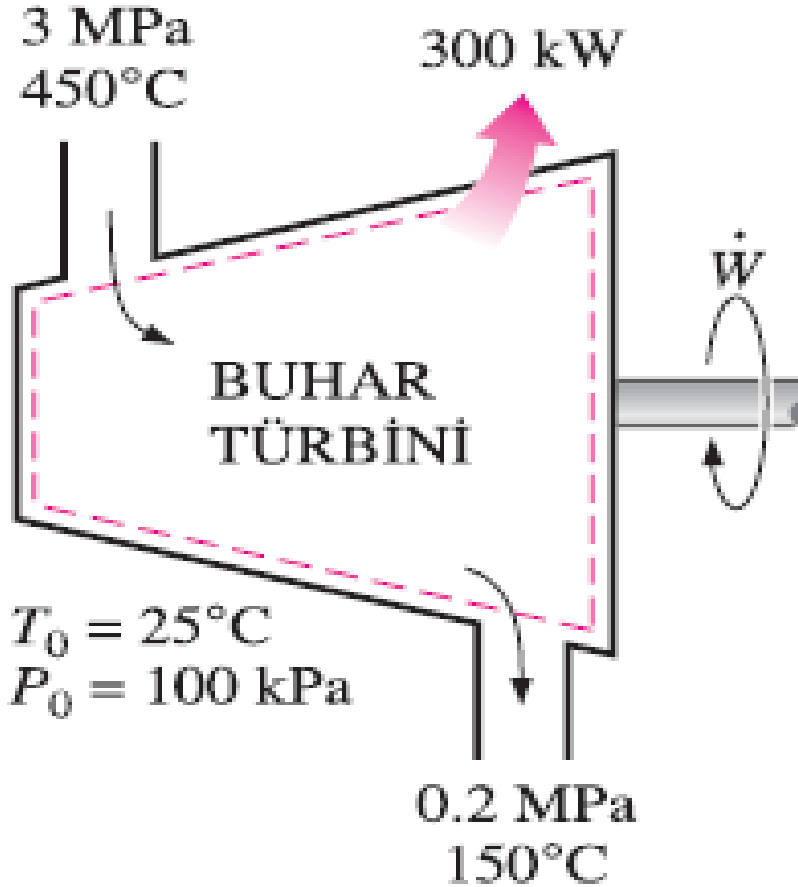
$$X_{\text{giren}} - X_{\text{çıkan}} = X_2 - X_1$$

$$W_{\text{tr, giren}} + m_1\psi_1^0 = m_2\phi_2 - m_1\phi_1^0$$

$$W_{\text{tr, giren}} = m_2\phi_2$$



Örnek



Buhar sürekli akışlı bir türbine 3 Mpa basınç ve 450 oC sıcaklıkta girmekte ve 0.2 Mpa basınç ve 150 oC sıcaklıkta çıkmaktadır. Türbinden akan buharın kütleli debisi 8 kg/s dir. Türbindeki akış sırasında buhardan 100 kPa basınç ve 25 oC sıcaklıkta bulunan çevreye 300 kW ısı geçişi olmaktadır. Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri göz ardı edilirse;

- Gerçek güç çıktısını
- Elde edilebilecek en büyük güç çıktısını
- II. Yasa verimini
- Ekserji yok oluşunu
- Buharın giriş koşullarındaki ekserjisini bulunuz?

a) Gerçek güç çıktısını bulalım

GİRİŞ: 3 MPa, 450 °C ;

$h_1 = 3344.9 \text{ kJ/kg}$;

$s_1 = 7.0856 \text{ kJ/kgK}$

ÇIKIŞ: 0.2 MPa, 150 °C;

$h_2 = 2769.1 \text{ kJ/kg}$;

$s_2 = 7.2810 \text{ kJ/kgK}$

ÖLÜ HAL: 100 kPa, 25 °C ;

$h_o = h_f = 104.83 \text{ kJ/kg}$

$s_o = s_f = 0.3672 \text{ kJ/kgK}$

$$Q_g + W_g + m(h_g + V_g^2/2 + g z_g) = Q_{\dot{c}} + W_{\dot{c}} + m(h_{\dot{c}} + V_{\dot{c}}^2/2 + g z_{\dot{c}})$$

$$m \cdot h_g = Q_{\dot{c}} + W_{\dot{c}} + m \cdot h_{\dot{c}}$$

$$W_{\dot{c}} = m(h_g - h_{\dot{c}}) - Q_{\dot{c}}$$

$$W_{\dot{c}} = 8 \text{ kg/s} \cdot (3344.9 - 2769.1) \text{ kJ/kg} - 300 \text{ kW} = 4306 \text{ kW}$$

b) En fazla güç çıktısı, ekserji dengesi ile bulunur (tersinir iş)

$$X_g - X_{\dot{c}} - X_{\text{yok olan}} = dX/dt = 0$$

$X_{\text{yok olan}} = 0$ olur (çünkü tersinir iş çıktısı)

$$X_g = X_{\dot{c}}$$

$$m \cdot \psi_1 = W_{\text{tr},\dot{c}} + X_{\text{ısı}} + m \cdot \psi_2$$

$$W_{\text{tr},\dot{c}} = m(\psi_1 - \psi_2) = m[(h_1 - h_2) - T_0(s_1 - s_2) + (V_1^2 - V_2^2)/2 + g(z_2 - z_1)]$$

$$W_{\text{tr},\dot{c}} = m[(h_1 - h_2) - T_0(s_1 - s_2)]$$

$$W_{\text{tr},\dot{c}} = 8 \text{ kg/s} \cdot [(3344.9 - 2769.1) - (298)(7.0856 - 7.2810)] = 4665 \text{ kW}$$

c) II. Verim = $W_{\dot{c}} / W_{tr,\dot{c}} = 4306 / 4665 = 0.923$

d) Ekserji yok oluşu = Tersinir iş – Gerçek yararlı iş = $4665 - 4306 = 359 \text{ kW}$

e) Giriş koşullarında buharın ekserjisini bulalım:

$$\psi_1 = (h_1 - h_o) - T_o(s_1 - s_o)$$

$$\psi_1 = (3344.9 - 104.83) - 298(7.0856 - 0.3672) = 1238 \text{ kJ/kg}$$

Giriş koşullarında 1 kg buharın iş yapma potansiyelidir.

ÖRNEK

10 oC sıcaklık ve 200 kPa basınçta 150 kg/dk kütleli debi ile karışma odasına giren su, burada sürekli olarak 150 oC sıcaklık ve 200 kPa basınçtaki su buharı ile karıştırılıyor. Karışım odası 80 oC sıcaklık ve 200 kPa basınçta terk etmektedir. Karışma odasından çevreye 190 kJ/dk ısı geçişi olmaktadır. Kinetik ve potansiyel enerji değişimlerini ihmal ederek, tersinir işi ve ekserji yok oluş akımını hesaplayınız?

$$m_1 + m_2 = m_3$$

Genel enerji denkliği sürekli akışlı sistemler için T1Y yazılırsa

$$Q_g + W_g + m_1(h_1 + V_1^2/2 + gz_1) + m_2(h_2 + V_2^2/2 + gz_2) =$$

$$Q_{\dot{c}} + W_{\dot{c}} + m_3(h_3 + V_3^2/2 + gz_3)$$

Uygun ihmalleri yapıncaya;

$$m_1.h_1 + m_2.h_2 = Q_{\dot{c}} + m_3.h_3$$

$$Q_{\dot{c}} = m_1.h_1 + m_2.h_2 - (m_1 + m_2).h_3 \text{ olur.}$$

h_1 i bulmak için önce faz durumunu belirleyelim

$T_1 = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ için ; $P_1 = 200\text{ kPa}$ için $T_{\text{doyg.}} = 120.21\text{ }^{\circ}\text{C}$

$10\text{ }^{\circ}\text{C} < 120.21\text{ }^{\circ}\text{C}$ old. için soğuk sıvı

Soğuk sıvı özellikleri = doymuş sıvı özellikleri

$h_1 = h_f = 42.022\text{ kJ/kg}$

$s_1 = s_f = 0.1511\text{ kJ/kgK}$

 h_2 'yi bulmak için önce faz durumunu belirleyelim

$T_2 = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ de ; $P_2 = 200\text{ kPa}$ için $T_{\text{doyg.}} = 120.21\text{ }^{\circ}\text{C}$

$150\text{ }^{\circ}\text{C} > 120.21\text{ }^{\circ}\text{C}$ old. için kızgın buhar

$h_2 = 2769.1\text{ kJ/kg}$

$s_2 = 7.2810\text{ kJ/kgK}$

h_3 'ü bulmak için önce faz durumunu belirleyelim

$T_3 = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ de ; $P_2 = 200\text{ kPa}$ için $T_{\text{doyg.}} = 120.21\text{ }^{\circ}\text{C}$

$70\text{ }^{\circ}\text{C} < 120.21\text{ }^{\circ}\text{C}$ old. için soğuk sıvı

Soğuk sıvı özellikleri = doymuş sıvı özellikleri

$h_3 = h_f = 293.07\text{ kJ/kg}$

$s_3 = s_f = 0.9551\text{ kJ/kgK}$

Öncelikle m_2 kütleli debiyi bulalım;

$Q_{\dot{c}} = m_1.h_1 + m_2.h_2 - (m_1 + m_2)h_3$ idi.

$190 = 42.022 \cdot 150 + m_2 \cdot 2769.1 - (150 + m_2) \cdot 293.07$

$m_2 = 15.29\text{ kg/dk}$ bulunur.

$$X_{giren} - X_{çıkan} - X_{yok\ olan} = dX/dt = 0$$

Isı Isı (sıfır)

İş İş

k.g.(+) k.ç.(+)

$$X_{giren} = X_{çıkan}$$

$$m_1\psi_1 + m_2\psi_2 = W_{tr,çıkan} + X_{ısı} + m_3\psi_3 \quad X_{ısı}=0$$

$W_{tr,çıkan}$: Hayali bir bakış açısı (sıcaklık farkı olan yerde ısı makinesi yerleştirilerek elde edilebilecek iş)

$$W_{tr,çıkan} = m_1(h_1 - T_{os1}) + m_2(h_2 - T_{os2}) - m_3(h_3 - T_{os3})$$

$W_{tr, çıkan} = 7197 \text{ kJ/kg}$ bulunur.

$X_{yok\ olan} = 7197 \text{ kJ/kg}$ (iş elde etmediğimiz için, Term. Göre bu bir kayıptır)

II. Yol

$$S_g - S_{\dot{c}} + \text{Süretim} = dS_{\text{system}}/dt$$

Isı ısı entropi

kg kç üretimi

$$m_1.s_1 + m_2.s_2 - m_3.s_3 - Q/T + \text{Süretim} = 0$$

$$\text{Süretim} = m_3.s_3 - m_1.s_1 - m_2.s_2 + Q/T$$

$$\text{Süretim} = (150 + 15.29) \cdot 0.9551 - 150 \cdot 0.1511 - 15.29 \cdot 7.2810 + 190 / 293$$

$$\text{Süretim} = 24.53 \text{ kJ/dkK} \quad \text{bulunur.}$$

Entropi üretim kaynakları:

*2 sıvının karışması *Sonlu sıcaklık farkından ısı geçişi

$$X_{\text{yok olan}} = T_o \cdot \text{Süretim}$$

$$X_{\text{yok olan}} = 293 \cdot 24.53 = 7187 \text{ kJ/dk}$$

BUHARLI VE BİRLEŞİK GÜÇ ÇEVİRİMLERİ

Termodinamiğin uygulama alanları

- *Güç üretimi

- *Soğutma

Güç üretimi ve soğutma termodinamik çevrime göre çalışan sistemler tarafından gerçekleştirilir. Dolayısıyla güç üretim çevrimleri ve soğutma çevrimleri vardır.

Güç çevrimleri: Net güç üretmek için kullanılan sistemlerin gerçekleştirdikleri çevrimler.

Soğutma çevrimleri: Soğutucu, buzdolabı, iklimlendirici, ısı pompaları gibi soğutma amacına uygun kullanılırlar.

Termodinamik çevrimler : Çalıştırıcı akışkanın faz durumuna göre

- *gaz akışkanlı çevrimler

- *buhar akışkanlı çevrimler

Gaz akışkanlı çevrimler: Çalıştırıcı akışkanın tüm çevrim boyunca gaz fazında kaldığı çevrim.

Buhar akışkanlı çevrim: Çevrimin bir bölümünde buhar bir bölümünde sıvı fazda olduğu çevrimdir.

Termodinamik çevrim:

- *Kapalı çevrim

- *Açık çevrim

Kapalı çevrim : Çalıştırıcı akışkan çevrim sonunda ilk haline döner, sürekli dolaşımda kalır.

Açık çevrim : Çalıştırıcı akışkan her çevrim sonunda yenilenir.

Otomobil motorlarında herçevrim sonunda yanmış gazlar çevrimden dışarı atılır, yerine taze yakıt/hava karışımı çevrime sokulur.

Isı makinaları:

- *İçten yanmalı

- *Dıştan yanmalı

İçten yanmalı: Yakıt, sistem sınırları içinde yakılarak çalıştırıcı akışkana enerji geçişi sağlanır.

Dıştan yanmalı : Çalıştırıcı akışkana enerji geçişi kazan, reaktör, güneş gibi dış kaynaktan sağlanır.

CARNOT BUHAR ÇEVİRİMİ

Belirli iki sıcaklık sınırı arasında çalışan en yüksek verimli çevrim olan Carnot çevrimi, buharlı güç santralleri için ideal bir çevrim değildir. Çünkü;

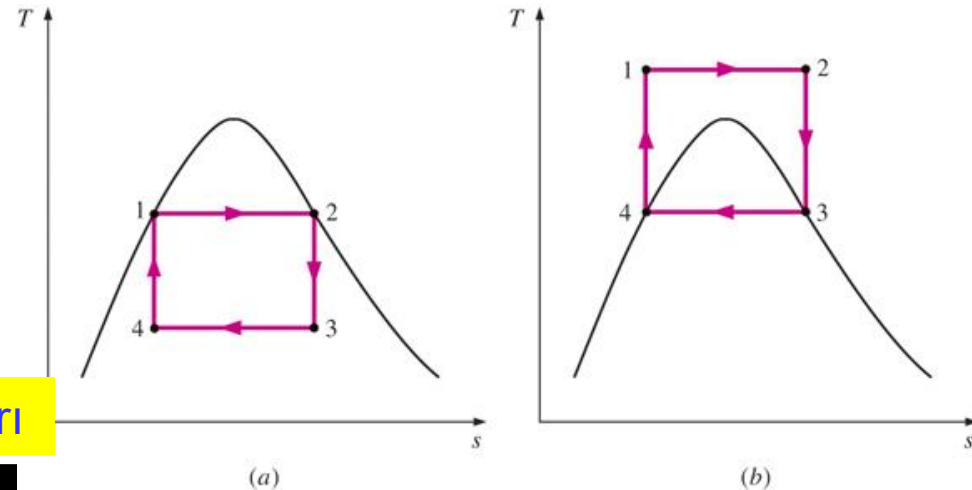
1-2 hal değişimi: Çevrimde kullanılabilecek en yüksek sıcaklığı önemli ölçüde kısıtlar (bu değer su için 374 C'dir). Çevrimin en yüksek sıcaklığının bu şekilde sınırlanması, ısı veriminin de sınırlanması anlamına gelir.

2-3 hal değişimi. Genişleme işlemi sırasında buharın kuruluk derecesi azalır. Sıvı zerreciklerinin türbin kanatlarına çarpması, türbin kanatlarında aşınmaya ve yıpranmaya yol açar.

4-1 hal değişimi: İzantropik sıkıştırma işlemi sıvı-buhar karışımının doymuş sıvı haline sıkıştırılmasını gerektirmektedir. Bu işlemle ilgili iki zorluk vardır. Birincisi, yoğuşmanın 4 halinde istenen kuruluk derecesine sahip olarak son bulacak şekilde hassas olarak kontrol edilmesi kolay değildir. İkincisi, iki fazlı akışkanı sıkıştıracak şekilde bir kompresörün tasarlanması uygulamada zordur

- 1-2** Kazanda izotermal ısı geçişi
- 2-3** Türbinde izantropik sıkıştırma
- 3-4** Kondenserde izotermal ısı çıkışı
- 4-1** Kompresörde izantropik sıkıştırma

İki Carnot buhar çevriminin T-s diyagramları

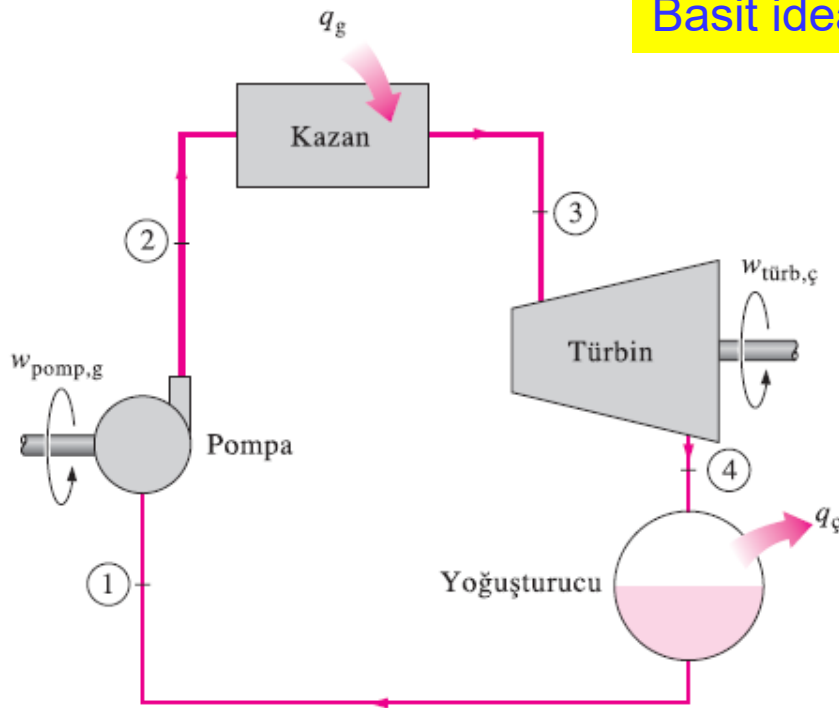


RANKİNE ÇEVİRİMİ: BUHARLI GÜÇ ÇEVRİMLERİ İÇİN İDEAL ÇEVİRİM

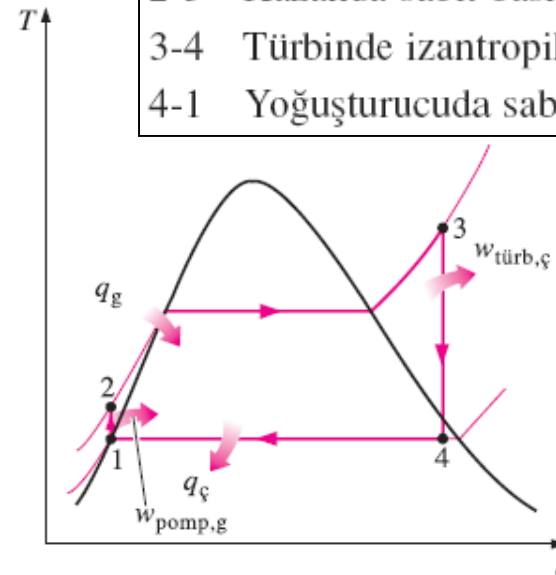
Carnot çevriminin uygulanmasında karşılaşılan sorunların bir çoğu, **kazanda suyun kızgın buhar haline ısıtılması** ve **yoğuşturucuda doymuş sıvı haline soğutulmasıyla** giderilebilir.

Oluşan bu çevrim, buharlı güç santrallerinin ideal çevrimi olan **Rankine çevrimidir**. İdeal Rankine çevrimi, içten tersinmezliklerin olmadığı dört hal değişiminden oluşur:

Basit ideal Rankine çevrimi

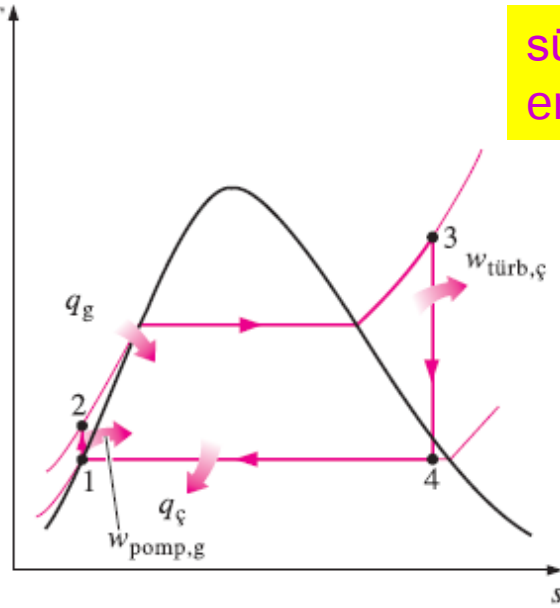


- 1-2 Pompada izantropik sıkıştırma
- 2-3 Kazanda sabit basınçta ısı girişi
- 3-4 Türbinde izantropik genişleme
- 4-1 Yoğuşturucuda sabit basınçta ısı atılması



İdeal Rankine Çevriminin Enerji Çözömlemesi

sürekli akışlı
enerji denklemi



$$(q_g - q_ç) + (w_g - w_ç) = h_{çıkış} - h_{giriş}$$

Pompa ($q = 0$):

$$w_{pomp,g} = h_2 - h_1$$

veya,

$$w_{pomp,g} = v(P_2 - P_1)$$

burada

$$h_1 = h_f @ P_1 \quad \text{ve} \quad v \cong v_1 = v_f @ P_1$$

dir.

Kazan ($w = 0$):

$$q_g = h_3 - h_2$$

Türbin ($q = 0$):

$$w_{turb,ç} = h_3 - h_4$$

Yoğuşturucu ($w = 0$):

$$q_ç = h_4 - h_1$$

Rankine çevriminin ısı verimi

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_g} = 1 - \frac{q_ç}{q_g}$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada

olmaktadır.

$$w_{net} = q_g - q_ç = w_{turb,ç} - w_{pomp,g}$$

Isıl verim aynı zamanda, çevrime ısı girişini gösteren eğrinin altında kalan alana oranı şeklinde yorumlanabilir.

ÖRNEK

Basit ideal Rankine çevrimine göre çalışan buharlı bir güç santrali buhar türbinüne 3 MPa basınç ve 350 °C sıcaklıkta girmekte ve yoğuşturucuda 75 kPa basınçta yoğrulmaktadır.

Çevrimin ısı verimini

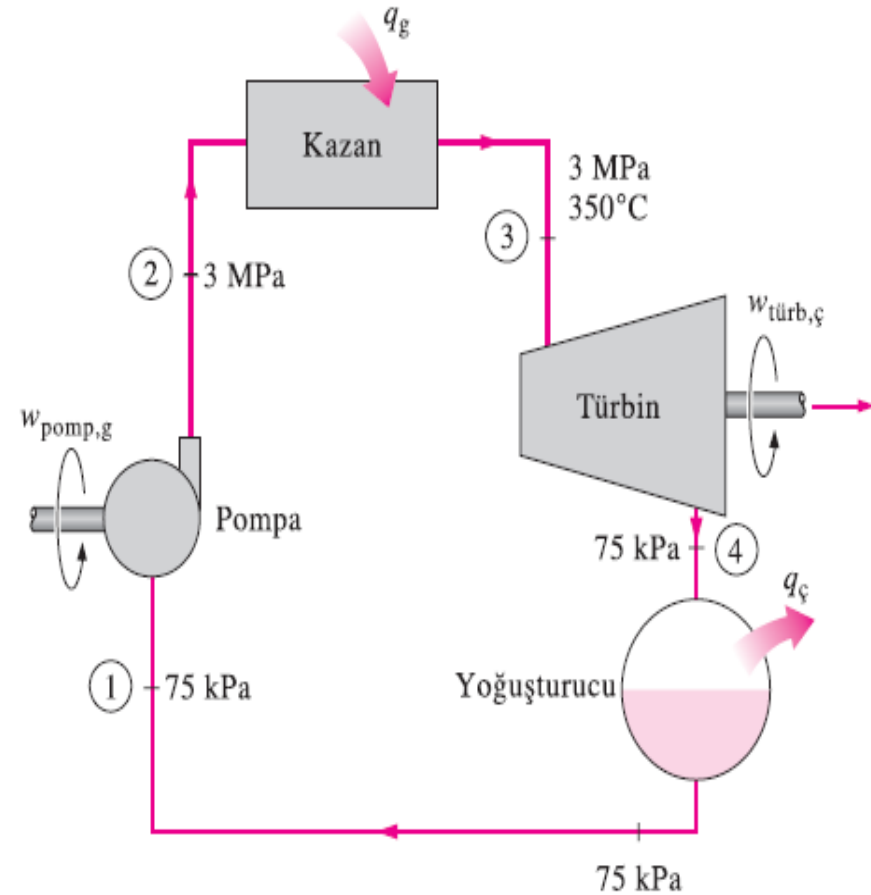
a)Giren ve çıkan ısı miktarlarıyla bul.?

b)Net işi hesaplayarak bul.?

c)Carnot verimi nedir?

NOT: Türbin ve pompanın entropi değişimine yol açmadığını kabul ediniz.

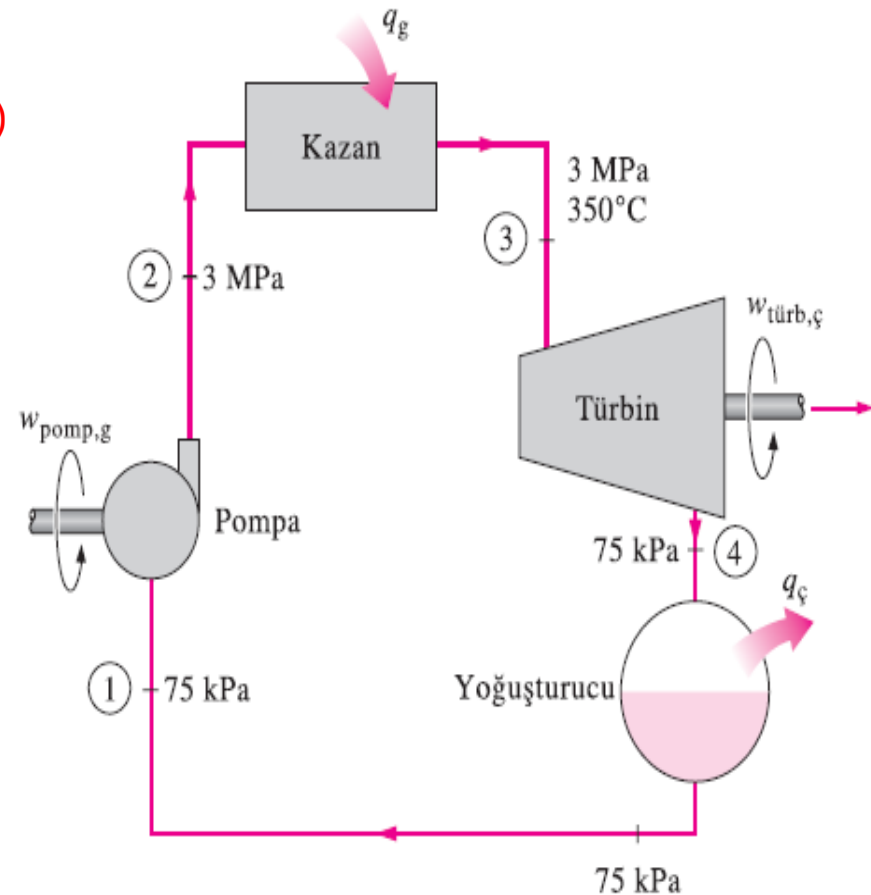
Ayrıca kazan ve yoğuşturucuda basıncın sabit kaldığı, buharın yoğuşturucudan, yoğuşturucu basıncında doymuş sıvı halinde çıktığı ve pompaya girdiği kabul edilmektedir.



ÇÖZÜM ALGORİTMASI (Sondan başa doğru)

- a) Verim= $1-(q_c/q_g)$ $q_g = h_3-h_2$
(Kazandan çıkan (3) ve kazana giren(2))
 $q_c = h_4-h_1$
(Yoğuşturucuya giren (4) ve yoğuşturucudan çıkan(1))
 $h_4=h_f+xh_{fg}$
($P_4=75$ kPa da doymun sıvı-buhar karışımı)
 $x=(s_4-s_f)/s_{fg}$
4. hal: $P_4= 75$ kPa
(doymun sıvı buhar karışımı) , $s_4=s_3$
3.hal: $P_3=3$ Mpa, $T_3=350$ oC
(kızgın buhar, A6); h_3 , s_3 okunur.
2.hal: 3 MPa , $s_2 = s_1$

1.hal: $P_1=75$ kPa, doymun sıvı ,
 $h_1=h_f$, $V_1=v_f =$, $s_1=s_f$ A5' ten okunur.



1.hal: $P_1=75 \text{ kPa}$, doygun sıvı
 $h_1=h_f(P_1=75 \text{ kPa}, A_5) = 384.44 \text{ kJ/kg}$
 $V_1=v_f = 0.001037 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $s_1=1.2132 \text{ kJ/kgK}$
 $W_p=v_1(P_2-P_1)=0.001037*(3000 -75)$
 $W_p=3.03 \text{ kJ/kg}$

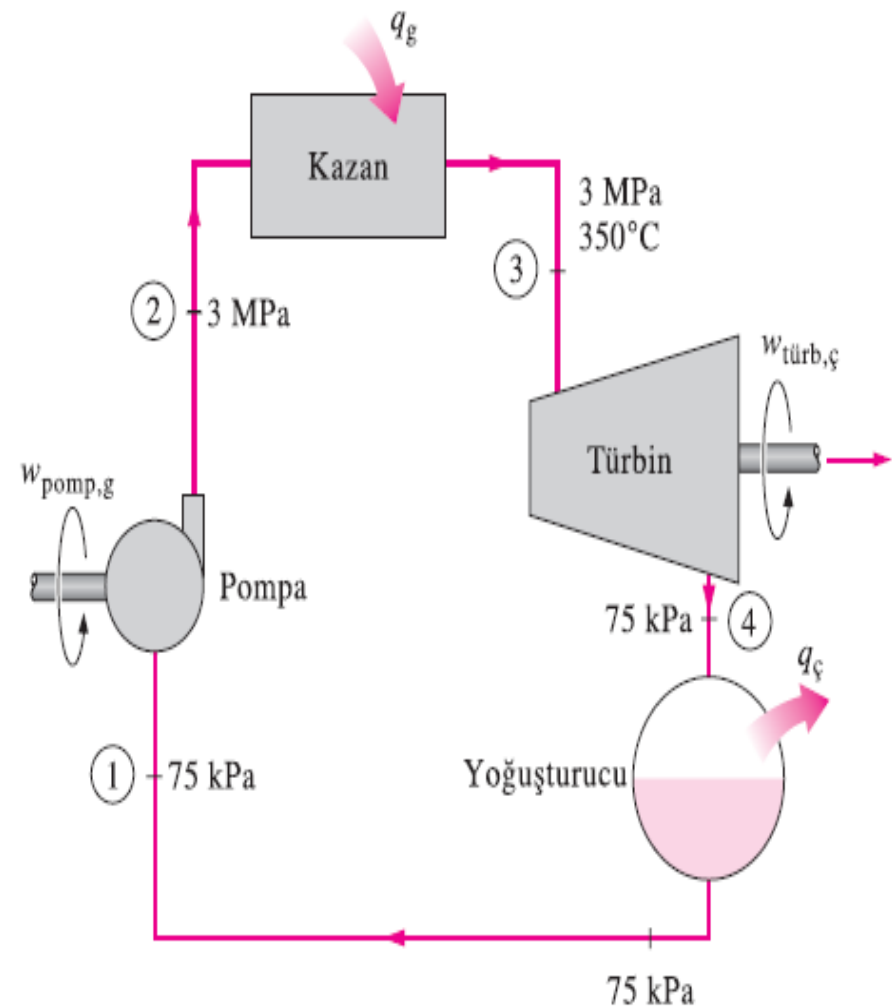
2.hal: 3 MPa , $s_2=s_1=1.2132 \text{ kJ/kgK}$

3.hal: $P_3=3 \text{ Mpa}$, $T_3=350 \text{ oC}$

$h_3=3116.1 \text{ kJ/kg}$, $s_3=6.7450 \text{ kJ/kgK}$

4. hal: $P_4= 75 \text{ kPa}$ (doygun sıvı buhar karışımı) , $s_4=s_3= 6.7450 \text{ kJ/kgK}$

$h_4=h_f+xh_{fg} = ?$ $X=?$



$$x = (s_4 - s_f) / s_{fg} = (6.7450 - 1.2132) / 6.2426$$

$$x = 0.8861$$

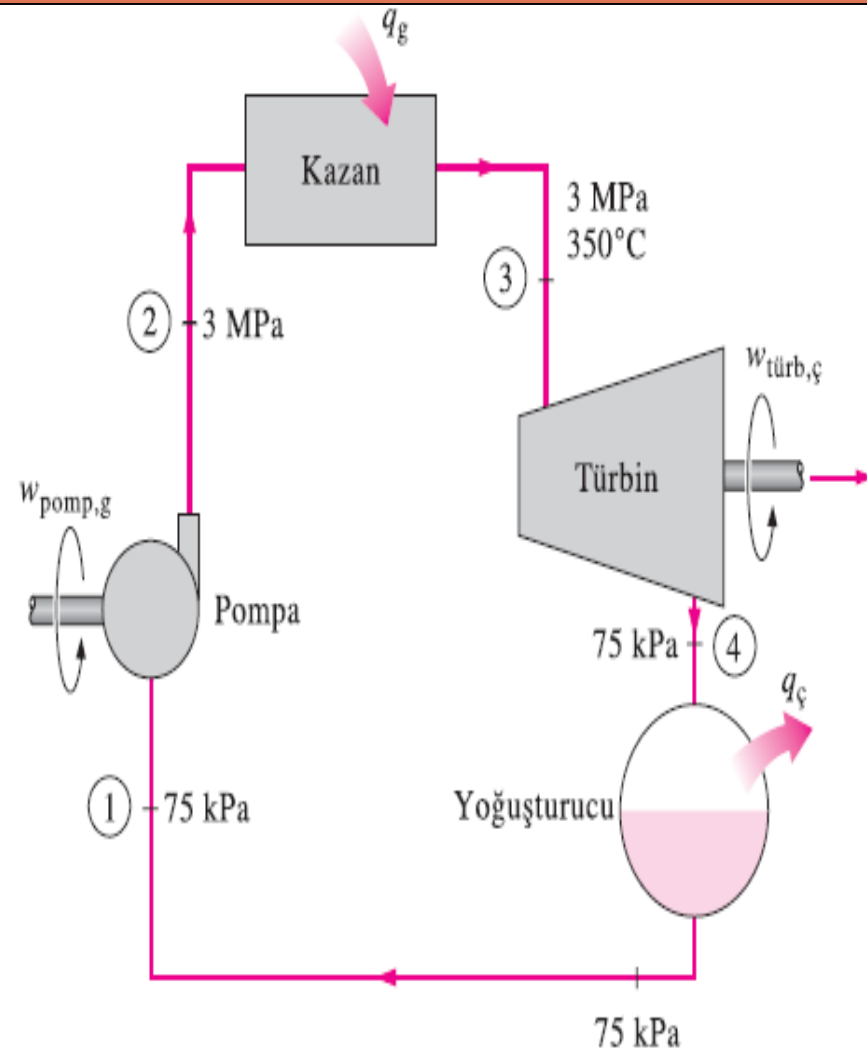
$$h_4 = h_f + x h_{fg} = 384.44 + 0.8861 \cdot (2278.0)$$

$$h_4 = 2403.0 \text{ kJ/kg}$$

$$q_g = h_3 - h_2 = 3116.1 - 387.47 = 2728.6 \text{ kJ/kg}$$

$$q_c = h_4 - h_1 = 2403.0 - 384.44 = 2018.6 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Verim} = 1 - (q_c / q_g) = 1 - 2018.6 / 2728.6 = 0.26$$



$$b) W_{\text{türbin}} = h_3 - h_4 = 3116.1 - 2403.0$$

$$W_{\text{türbin}} = 713.1 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{\text{net}} = W_{\text{türbin}} - W_{\text{pompa}}$$

$$W_{\text{net}} = 713.1 - 3.03 = 710.1 \text{ kJ/kg}$$

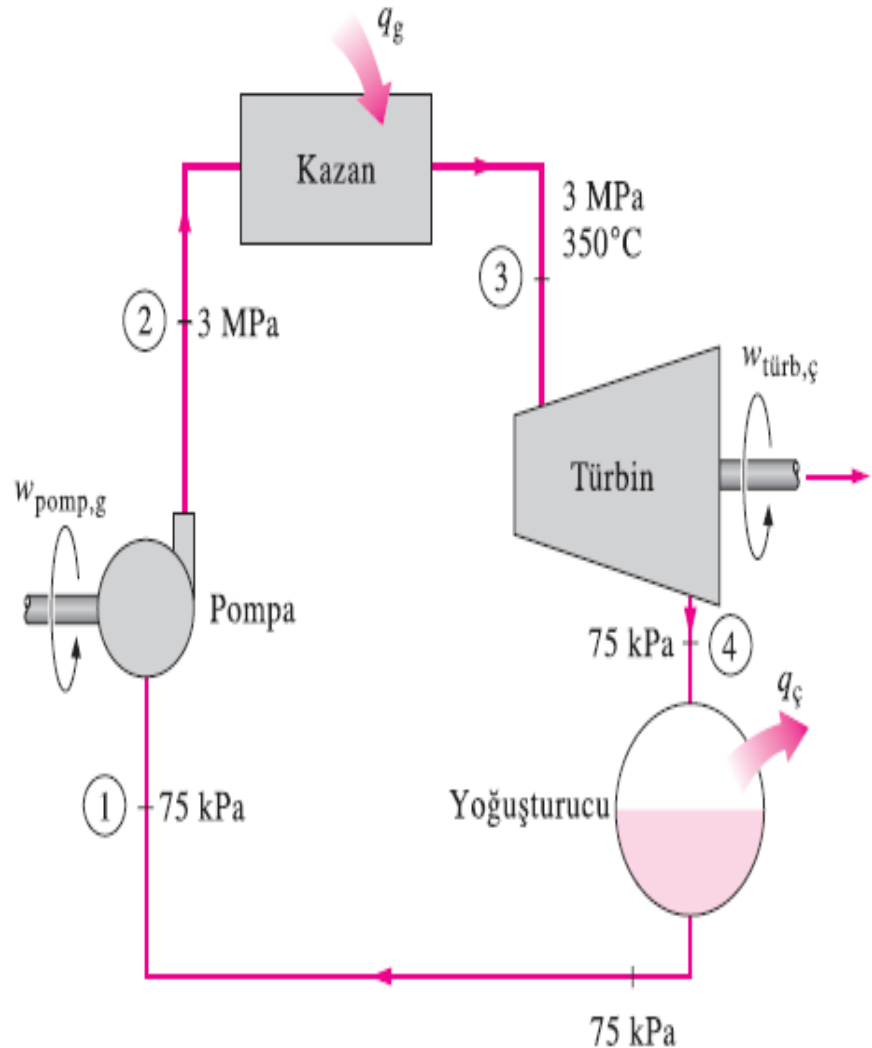
$$W_{\text{net}} = q_g - q_{\text{ç}} = 2728.6 - 2018.6$$

$$= 710 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Verim} = W_{\text{net}} / q_g = 710 / 2728.6 = 0.26$$

$$c) \text{ Carnot verimi} = 1 - T_L / T_H$$

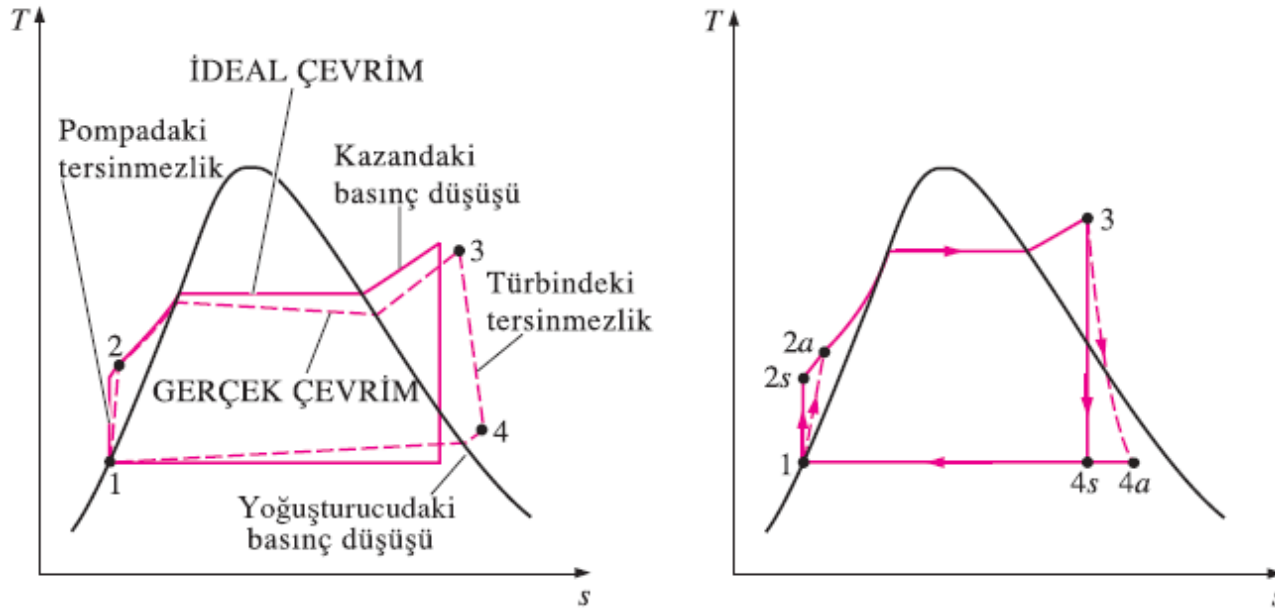
$$= 1 - (91.76 + 273) / (350 + 273) = 0.415$$



GERÇEK BUHARLI GÜÇ ÇEVİRİMİNİN İDEAL BUHARLI GÜÇ ÇEVİRİMİNDEN FARKI

Çeşitli tersinmezliklerden dolayı gerçek buharlı güç santrallerinin çevrimi, ideal Rankine çevriminden farklıdır.

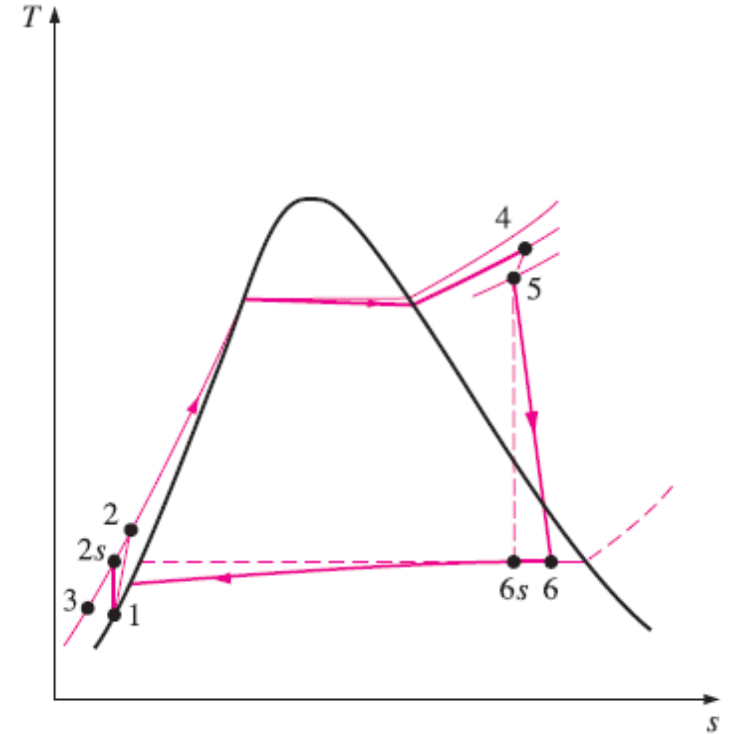
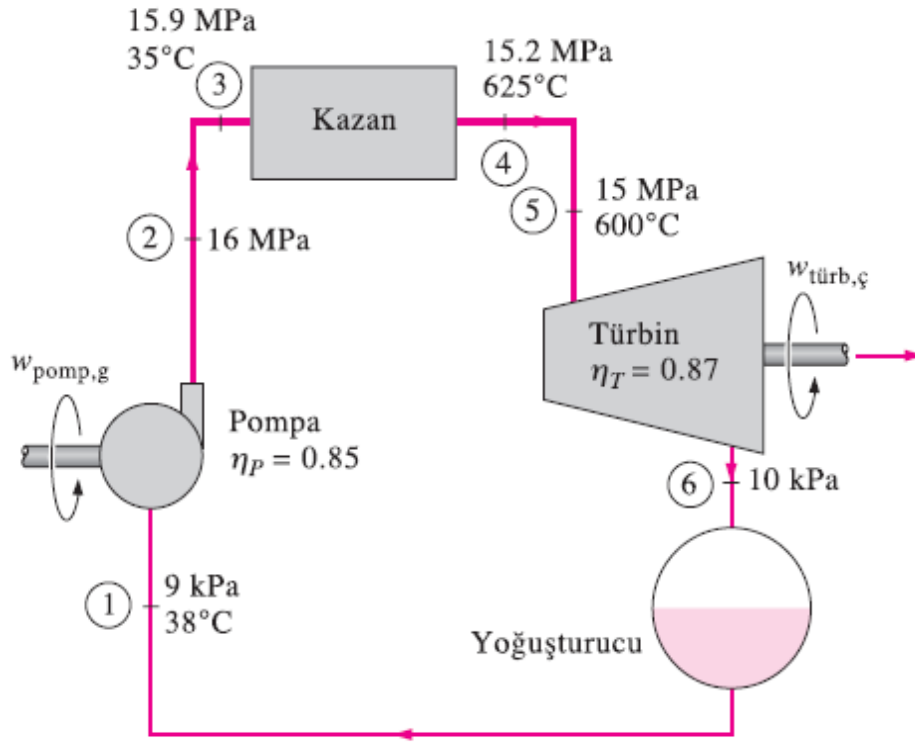
Sürtünme ve çevreye olan ısı kayıpları tersinmezliklerin başlıca iki kaynağıdır.



(a) Gerçek buharlı güç çevriminin ideal Rankine çevriminden farklılığı. (b) Pompa ve türbindeki tersinmezliklerin ideal Rankine çevrimi üzerindeki etkileri.

ÖRNEK : Bir buharlı güç santrali şekildeki çevrime göre çalışmaktadır. Türbinin ve pompanın adyabatik verimleri sırasıyla yüzde 87 ve 85'tir. (a) Çevrimin ısıl verimini, (b) buharın kütle debisi 15 kg/s olduğuna göre santralin gücünü hesaplayın.

Çevrimin tüm elemanları **sürekli akışlı açık sistem** olarak ele alınmakta, kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilmektedir. Verilen hallerde gerekli diğer özellikler, buhar tablolarından elde edilebilir.



Çözüm algoritması (sondan başa doğru)

b) $W_{net} = m \cdot w_{net}$

a) $Verim = W_{net} / q_g$

$W_{net} = W_{t,\zeta} - W_{p,g}$

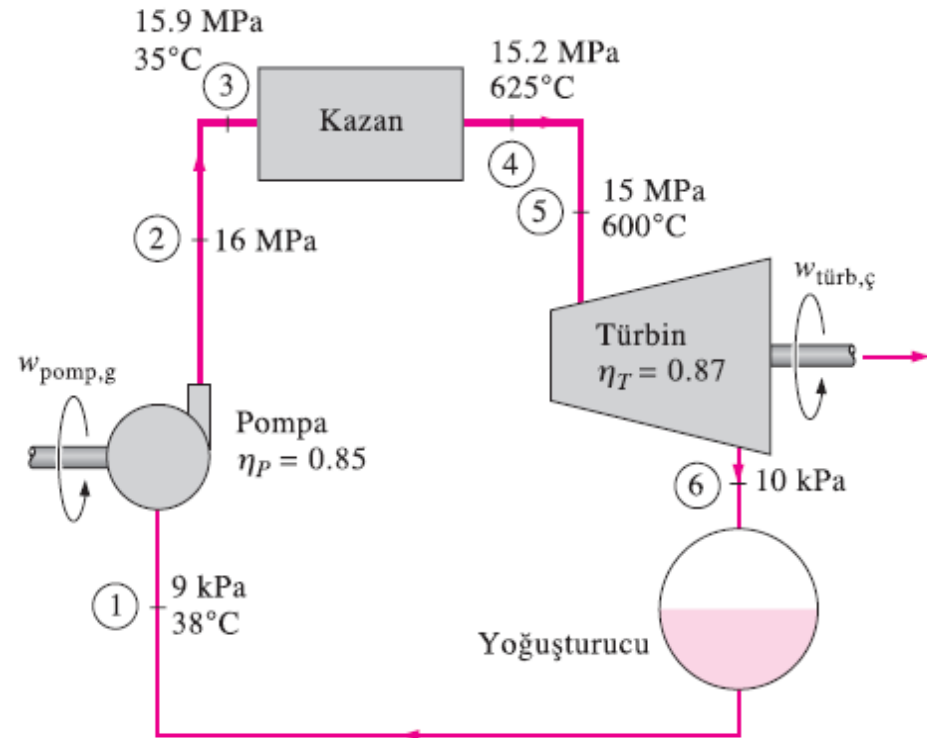
$q_g = h_4 - h_3$

$w_{turb,\zeta} = h_5 - h_6$

$w_{turb} = verim \cdot W_{t,\zeta}$

$W_{pompa} = W_{p,g} / Verim$

$W_{p,g} = v_1 \cdot (P_2 - P_1)$



$$W_{pomba} = W_{p,g} / \text{Verim}$$

$$W_{p,g} = v_1 \cdot (P_2 - P_1) \\ = 0.001009 \cdot (16000 - 9) / 0.85 = 19 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{t\text{ürbin}} = \text{Verim} \cdot W_{t,\zeta}$$

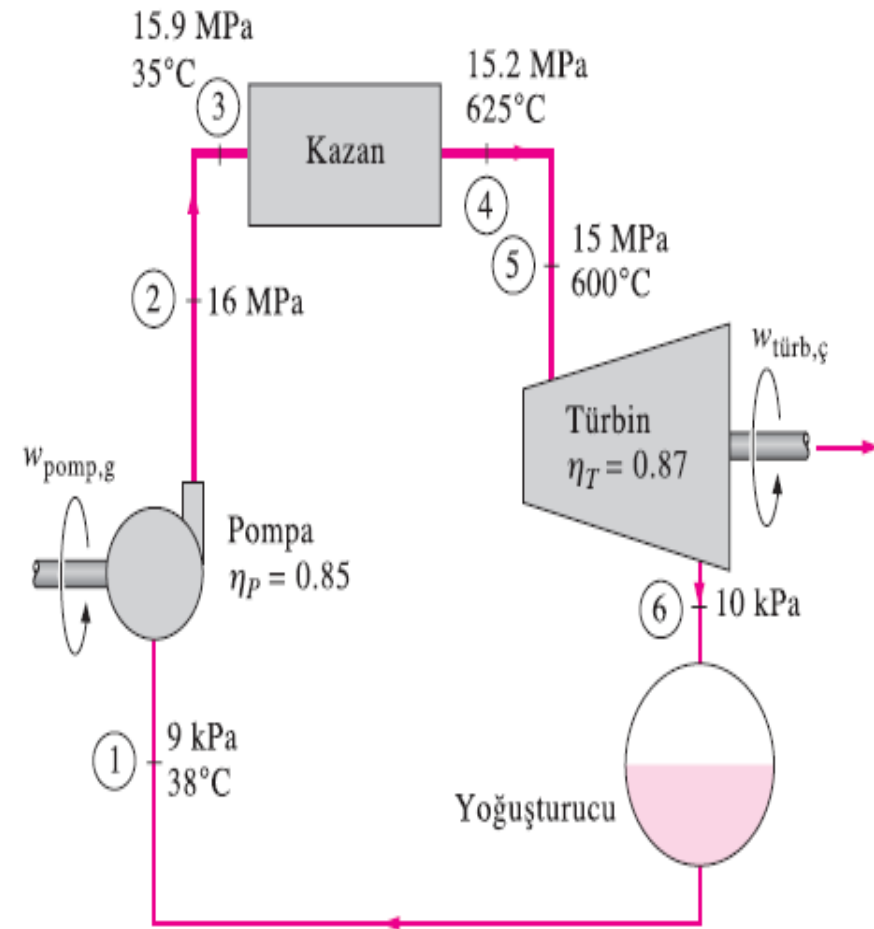
$$W_{t,\zeta} = h_5 - h_6 = (0.87) (3583.1 - 2115.3) \\ = 1277 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_g = h_4 - h_3 = 3467.6 - 160.1 \\ = 3487.5 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{\text{net}} = W_{t,\zeta} - W_{p,g} = 1277 - 19 \\ = 1258 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Verim} = W_{\text{net}} / q_g = 1258 / 3487.5 = 0.36$$

$$b) W_{\text{net}} = m \cdot w_{\text{net}} = (15)(1258) = 18.9 \text{ MW}$$

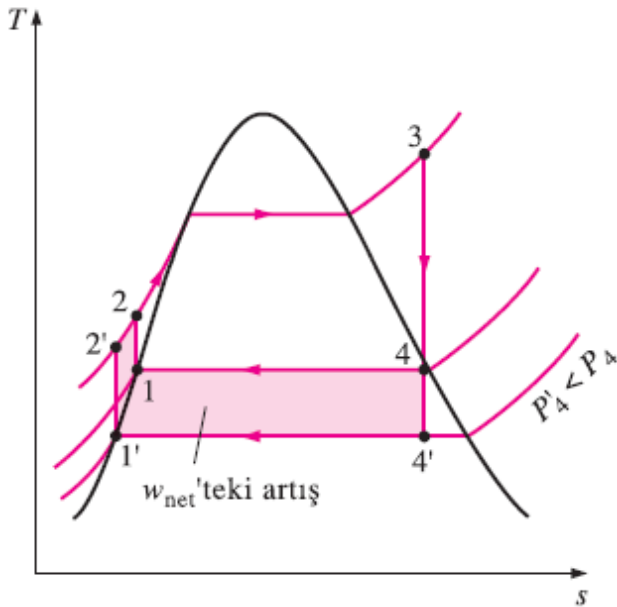


RANKİNE ÇEVİRİMİNİN VERİMİ NASIL ARTIRILABİLİR?

Bir güç çevriminin ısı verimini artırmaya yönelik bütün değişikliklerin arkasında yatan temel düşünce aynıdır:

kazanda iş akışkanına ısı geçişinin sağlandığı ortalama sıcaklığın yükseltilmesi veya yoğuşturucuda iş akışkanından ısı atıldığı ortalama sıcaklığın düşürülmesi” şeklinde özetlenebilir.

Yoğuşturucu Basıncının Düşürülmesi ($T_{L,ort}$ 'yı düşürür)

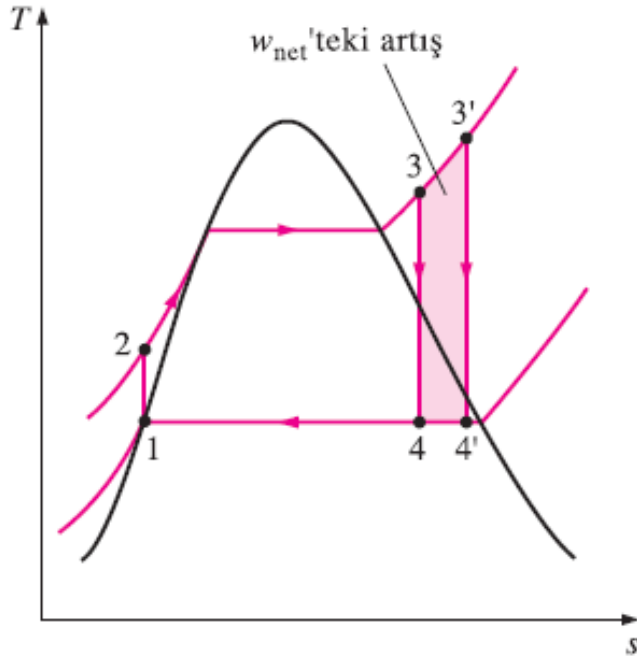


Düşük basınç sonucu ısı verimindeki artıştan yararlanmaya yönelik olarak buharlı güç santrallerindeki yoğuşturucular genellikle atmosfer basıncının oldukça altında çalıştırılırlar. Fakat yoğuşturucu basıncının düşürülebileceği bir alt sınır vardır.

Yan etkisi: Türbinin son kademelerinde kuruluk derecesinin azalmasıdır. Buharın içinde sıvı zerreciklerinin bulunması hem türbin veriminin azalmasına, hem de türbin kanatlarının aşınmasına yol açar.

Yoğuşturucu basıncının düşürülmesinin ideal Rankine çevrimi üzerindeki etkisi.

Buharın Kızdırılması (TH,ort 'yı yükseltir)



Buharın kızdırılmasının ideal Rankine çevrimi üzerindeki etkisi.

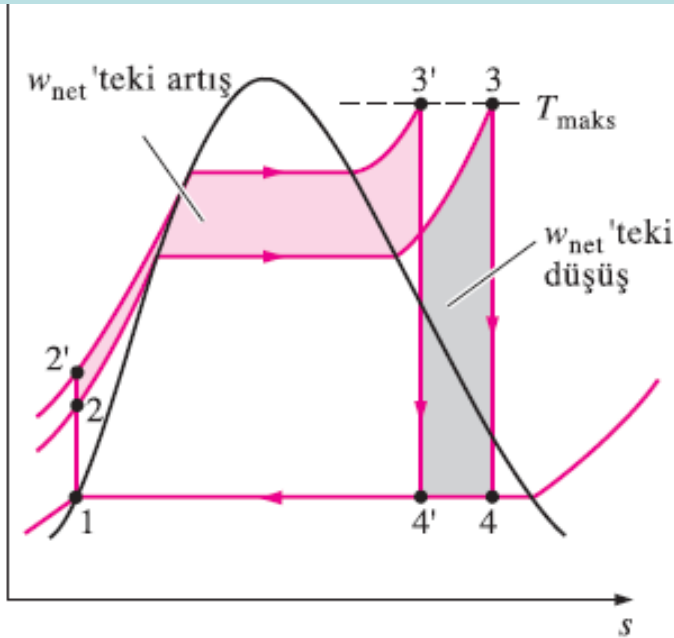
Buhara ısıнын verildiği ortalama sıcaklık, kazan basıncı yükseltilmeden buharın kızgın buhar bölgesinde daha yüksek sıcaklıklara ısıtılmasıyla artırılabilir. Kızdırmanın buharlı güç çevriminin performansına etkisi Şekil'de bir T-s diyagramı üzerinde gösterilmiştir. Bu diyagramdaki renklendirilmiş alan net işteki artışı göstermektedir.

Kızdırma sonucu türbin çıkışındaki buharın kuruluk derecesi artmaktadır

Buharın kızdırılabileceği sıcaklık, malzeme dayanımıyla sınırlıdır. Günümüzde türbin girişinde izin verilebilen en yüksek buhar sıcaklığı yaklaşık 620°C dolaylarındadır.

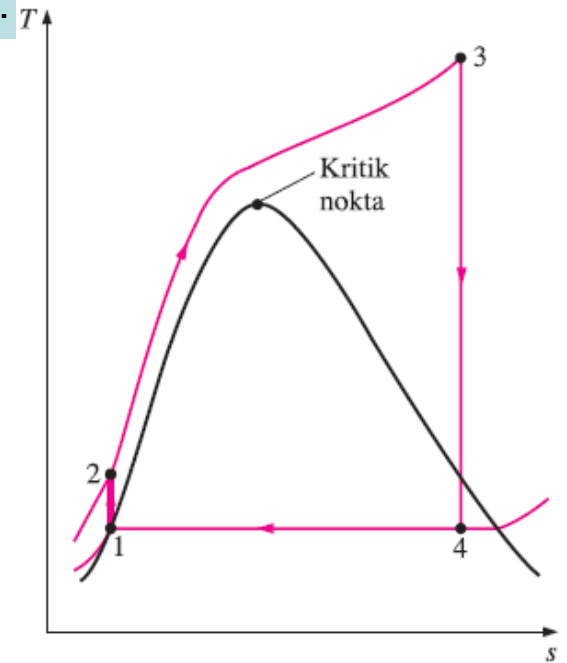
Kazan Basıncının Yükseltilmesi (T_H , ort 'yı yükseltir)

Türbin giriş sıcaklığının sabit tutulması durumunda çevrimin sola doğru kaydığına ve türbin çıkışında buharın kuruluk derecesinin azaldığına dikkat edilmelidir.



Kazan basıncının yükseltilmesinin ideal Rankine çevrimi üzerindeki etkisi.

Günümüzde bir çok modern buharlı güç santralleri kritik basıncın üzerindeki basınçlarda ($P > 22.09$ MPa); fosil yakıtlı santrallerde yaklaşık yüzde 40 ısı verimle, nükleer santrallerde ise yüzde 34 ısı verimle çalışmaktadır.

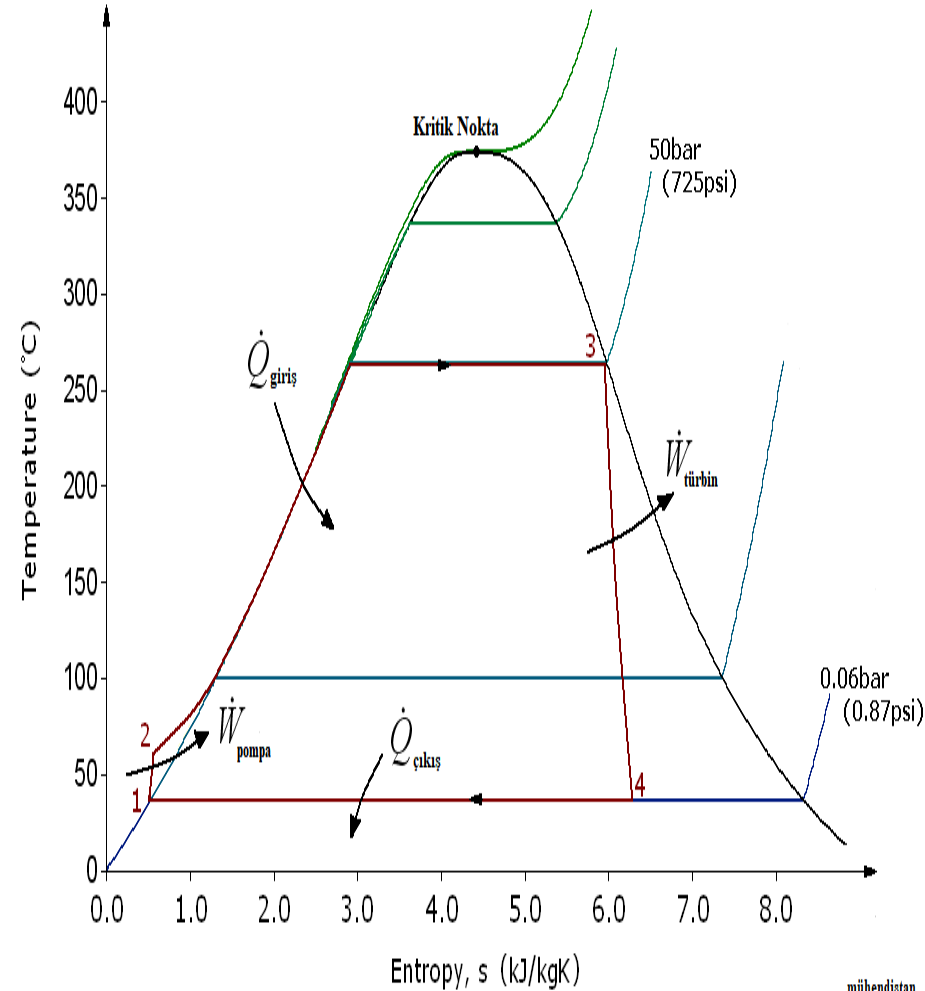


Kritik basınç üzerinde çalışan bir Rankine çevrimi.

Rankine çevrimi 4 aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar, yukarıda gösterilen T-s diyagramında numaralandırılarak tanımlanmıştır

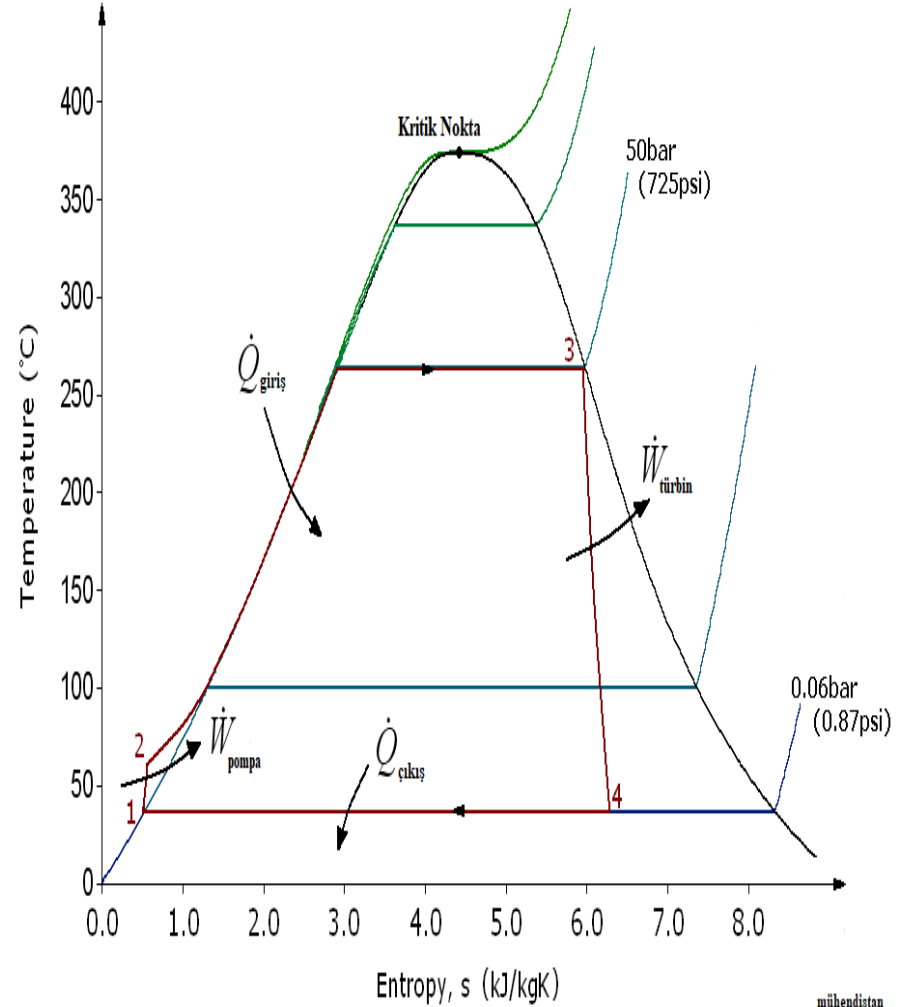
Aşama 1-2: Çalışma sıvısı
(aracı akışkan) düşük basınçtan yüksek basınca pompalanır. Burada akışkan sıvı halde olduğundan dolayı pompaya az miktarda enerji girişi gerekir.

$w_{p,giriş}$ = Pompanın harcadığı
 $iş = v_1(P_2 - P_1)$

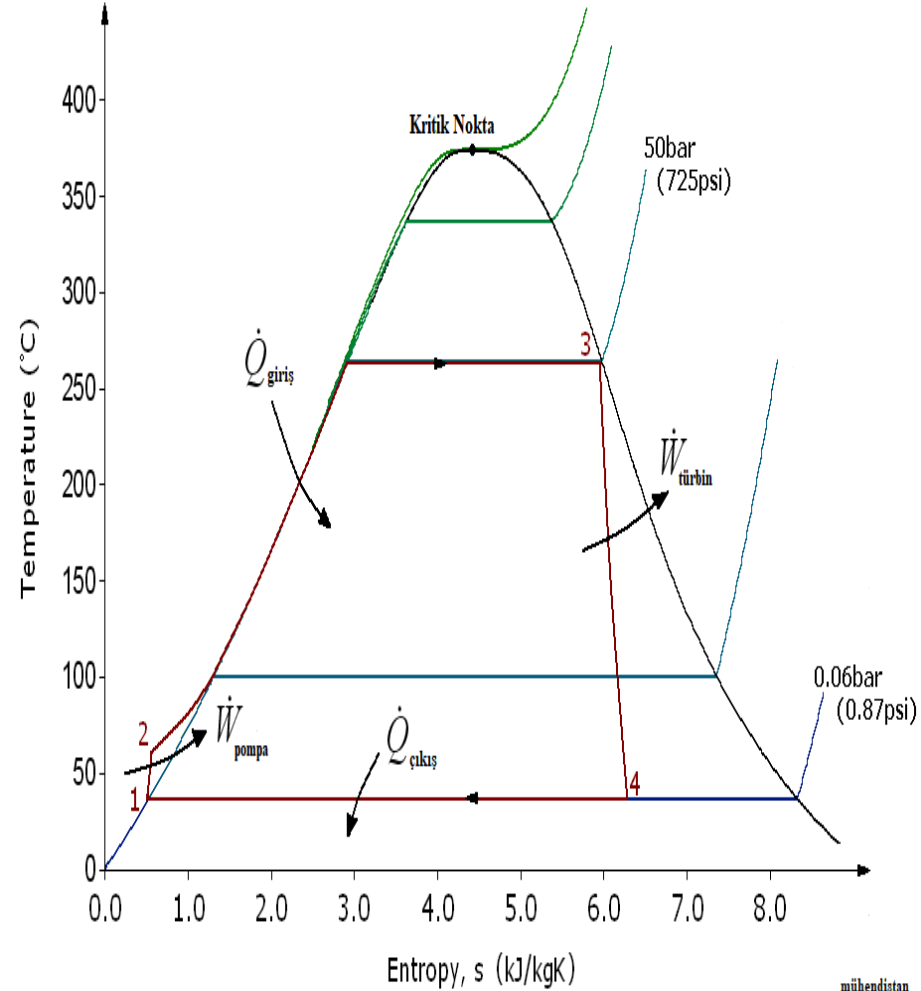


mühendistan

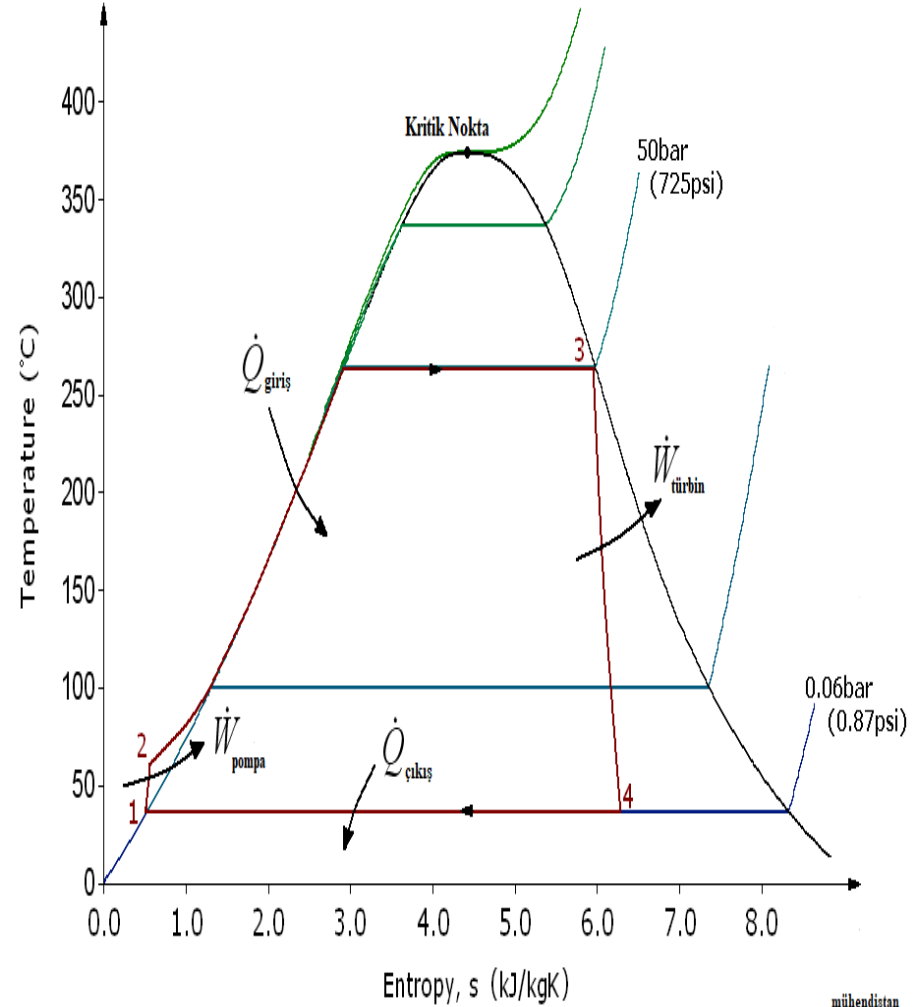
Aşama 2-3: Yüksek basınçtaki sıvı kazana giriş yapar, burada doymuş kuru buhar haline gelmesi için büyük bir ısı kaynağı tarafından sabit basınçta ısıtılır. Gerekli olan giriş enerjisi miktarı, entalpi-entropi tablosu (h-s grafiği) kullanılarak ya da sayısal olarak, buhar tabloları kullanılarak kolayca hesaplanabilir.



Aşama 3-4: Doymuş kuru buhar fazındaki çalışma sıvısı enerji üreten bir türbin boyunca genişler. Bu akışkanın ve buhar basıncını düşürür ve biraz yoğunlaşmaya neden olabilir. Bu süreçteki veriler, tablolar kullanılarak hesaplanabilir.



Aşama 4-1: Islak buhar kondensere (yoğuşturucu) giriş yapar, burada bir doymuş sıvı haline gelmesi için sabit basınçta yoğuşturulur.



İdeal Rankine çevriminde pompa ve türbin izentropik olacaktır.

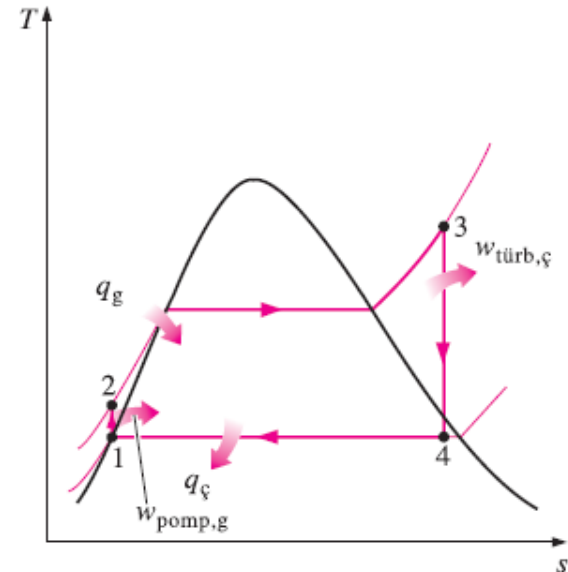
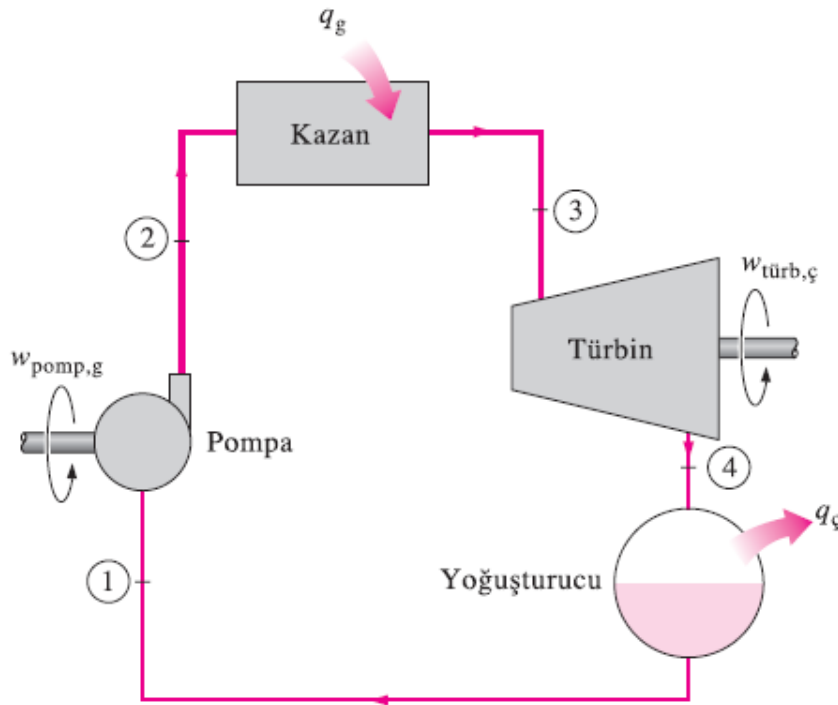
Bu sayede pompa ve türbin entropi üretmeyecek ve dolayısıyla yapılan iş maksimum olacaktır.

Aşama 1-2 ve 3-4'teki süreçler T-s diyagramı üzerinde dikey çizgilerle temsil edilir ve Carnot çevrimi'ne çok benzer.

Burada gösterilen Rankine çevrimi, türbinde genleştikten sonra buharın aşırı ısınma bölgesinde yoğunlaşmasını önler, bu da kondenserde oluşan enerji kaybını azaltır.

İdeal Rankine Çevriminin Enerji Çözömlemesi için yeni bir örnek

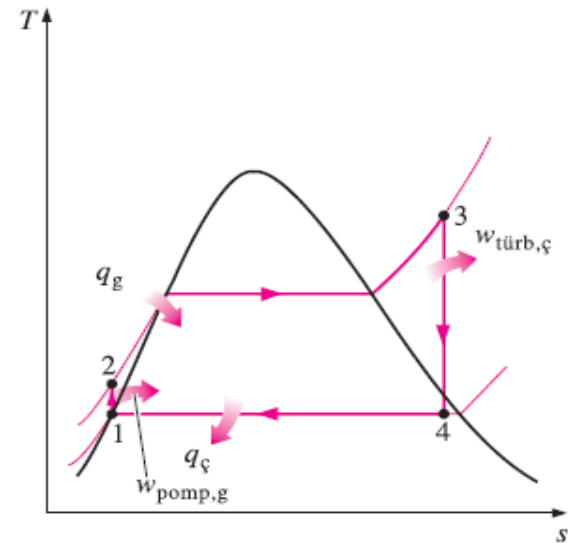
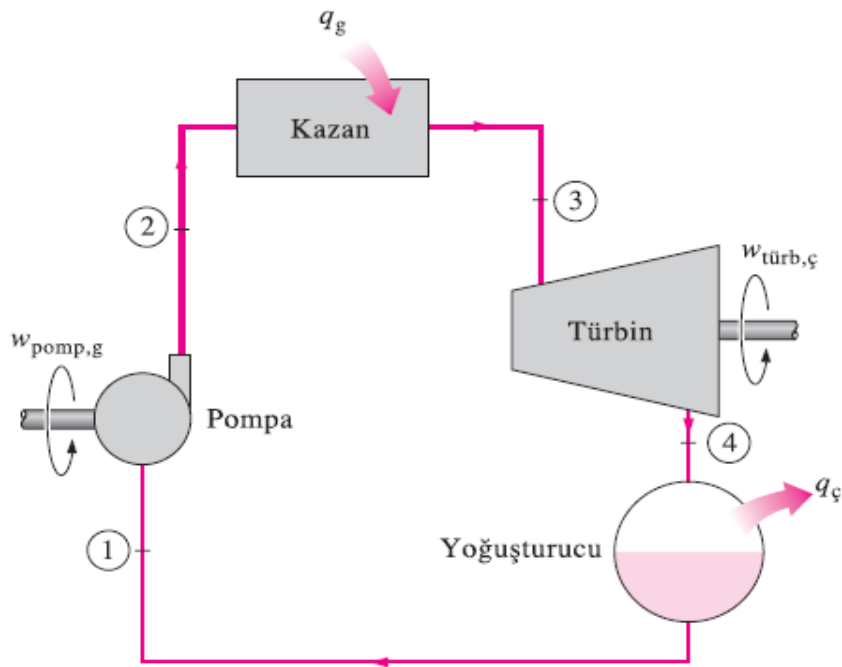
Çalıştırıcı akışkanı su buharı olan basit ideal Rankine çevriminin net gücü ve ısı verimi hesaplanacaktır. Çalıştırıcı akışkan su buharı türbine 10MPa basınçta doymuş buhar olarak girmektedir. Yoğuşturucu basıncı ise 20 kPa dır. Yoğuşturucu çıkış hali doymuş sıvıdır. Verimi bulunuz?



$$\text{Werim} = 1 - (q_{\text{çıkan}}/q_{\text{giren}})$$

$$q_{\text{giren}} = h_3 - h_2$$

$$q_{\text{çıkan}} = h_4 - h_1$$



ALGORİTMA

h_1 =Pompaya giren suyun entalpisi = h_f (soruda verilmiş, 20 kPa) (A-5)

v_1 =Pompaya giren suyun özgül hacmi= $v_f(20 \text{ kPa})$ (A-5)

P_1 =Yoğuşturucudan çıkıp pompaya giren suyun basıncı (20 kPa)

h_2 =Pompadan çıkan suyun entalpisi = $h_1 + w_{p,giriş}$

$w_{p,giriş}$ = Pompanın harcadığı iş = $v_1(P_2 - P_1)$

P_2 =Pompadan çıkıp kazana giren su buharının basıncı (10 Mpa=10000 kPa)

P_3 =Türbine giren su buharının basıncı (soruda verilmiş, 10 Mpa)

X_3 =Türbinden çıkan su buharının kuruluk derecesi = 1

h_3 ve s_3 (P_3 ve X_3 değerlerine bağlı olarak A5 ten okunur)

P_4 =Yoğuşturucuya giren suyun basıncı

X_4 =Yoğuşturucuya giren su buharının kuruluk derecesi = ? (hesaplanır)

x_4 = Yoğuşturucuya giren su buharının kuruluk derecesi = ?

$$x_4 = (s_4 - s_f) / s_{fg} = ?$$

$s_3 = s_4$ (Bakınız TS diyagramı)

s_f = 20 kPa daki s_f

s_{fg} = 20 kPa daki s_{fg}

Basınç., P kPa	sıcaklığı., $T_{\text{doğ}}$ °C	sıvı, v_f	buhar, v_g	sıvı, u_f	Buhar., u_{fg}	buhar, u_g	sıvı, h_f	Buhar., h_{fg}	buhar, h_g	sıvı, s_f	Buhar., s_{fg}	buhar, s_g
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402

1000	179.88	0.001127	0.19436	761.39	1821.4	2582.8	762.51	2014.6	2777.1	2.1381	4.4470	6.5850
1100	184.06	0.001133	0.17745	779.78	1805.7	2585.5	781.03	1999.6	2780.7	2.1785	4.3735	6.5520
1200	187.96	0.001138	0.16326	796.96	1790.9	2587.8	798.33	1985.4	2783.8	2.2159	4.3058	6.5217
1300	191.60	0.001144	0.15119	813.10	1776.8	2589.9	814.59	1971.9	2786.5	2.2508	4.2428	6.4936
1400	195.04	0.001149	0.14078	828.35	1763.4	2591.8	829.96	1958.9	2788.9	2.2835	4.1840	6.4675
1500	198.29	0.001154	0.13171	842.82	1750.6	2593.4	844.55	1946.4	2791.0	2.3143	4.1287	6.4430
1750	205.72	0.001166	0.11344	876.12	1720.6	2596.7	878.16	1917.1	2795.2	2.3844	4.0033	6.3877
2000	212.38	0.001177	0.099587	906.12	1693.0	2599.1	908.47	1889.8	2798.3	2.4467	3.8923	6.3390
2250	218.41	0.001187	0.088717	933.54	1667.3	2600.9	936.21	1864.3	2800.5	2.5029	3.7926	6.2954
2500	223.95	0.001197	0.079952	958.87	1643.2	2602.1	961.87	1840.1	2801.9	2.5542	3.7016	6.2558
3000	233.85	0.001217	0.066667	1004.6	1598.5	2603.2	1008.3	1794.9	2803.2	2.6454	3.5402	6.1856
3500	242.56	0.001235	0.057061	1045.4	1557.6	2603.0	1049.7	1753.0	2802.7	2.7253	3.3991	6.1244
4000	250.35	0.001252	0.049779	1082.4	1519.3	2601.7	1087.4	1713.5	2800.8	2.7966	3.2731	6.0696
5000	263.94	0.001286	0.039448	1148.1	1448.9	2597.0	1154.5	1639.7	2794.2	2.9207	3.0530	5.9737
6000	275.59	0.001319	0.032449	1205.8	1384.1	2589.9	1213.8	1570.9	2784.6	3.0275	2.8627	5.8902
7000	285.83	0.001352	0.027378	1258.0	1323.0	2581.0	1267.5	1505.2	2772.6	3.1220	2.6927	5.8148
8000	295.01	0.001384	0.023525	1306.0	1264.5	2570.5	1317.1	1441.6	2758.7	3.2077	2.5373	5.7450
9000	303.35	0.001418	0.020489	1350.9	1207.6	2558.5	1363.7	1379.3	2742.9	3.2866	2.3925	5.6791
10,000	311.00	0.001452	0.018028	1393.3	1151.8	2545.2	1407.8	1317.6	2725.5	3.3603	2.2556	5.6159
11,000	318.08	0.001488	0.015988	1433.9	1096.6	2530.4	1450.2	1256.1	2706.3	3.4299	2.1245	5.5544
12,000	324.68	0.001526	0.014264	1473.0	1041.3	2514.3	1491.3	1194.1	2685.4	3.4964	1.9975	5.4939
13,000	330.85	0.001566	0.012781	1511.0	985.5	2496.6	1531.4	1131.3	2662.7	3.5606	1.8730	5.4336
14,000	336.67	0.001610	0.011487	1548.4	928.7	2477.1	1571.0	1067.0	2637.9	3.6232	1.7497	5.3728
15,000	342.16	0.001657	0.010341	1585.5	870.3	2455.7	1610.3	1000.5	2610.8	3.6848	1.6261	5.3108
16,000	347.36	0.001710	0.009312	1622.6	809.4	2432.0	1649.9	931.1	2581.0	3.7461	1.5005	5.2466
17,000	352.29	0.001770	0.008374	1660.2	745.1	2405.4	1690.3	857.4	2547.7	3.8082	1.3709	5.1791
18,000	356.99	0.001840	0.007504	1699.1	675.9	2375.0	1732.2	777.8	2510.0	3.8720	1.2343	5.1064
19,000	361.47	0.001926	0.006677	1740.3	598.9	2339.2	1776.8	689.2	2466.0	3.9396	1.0860	5.0256

$h_1 = \text{Pompaya giren suyun entalpisi} = h_f(20 \text{ kPa}) = 251.42 \text{ kJ/kg} \quad (\text{A-5})$

$v_1 = \text{Pompaya giren suyun özgül hacmi} = v_f(20 \text{ kPa}) = 0.001017 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (\text{A-5})$

Pompanın harcadığı iş = $w_{p,\text{giriş}} = v_1(P_2 - P_1) = 0.001017 (10000 - 20) = 10.15 \text{ kJ/kg}$

$h_2 = \text{Pompadan çıkan suyun entalpisi} = h_1 + w_{p,\text{giriş}} = 251.42 + 10.15 = 261.57 \text{ kJ/kg}$

$P_3 = 10 \text{ Mpa}$ ve $X = 1$ (Su buharının kazandan çıkıştaki basıncı ve kuruluk derecesi)

$P_3 = 10 \text{ Mpa}$ ve $X = 1$ için $h_3 = 2725.5 \text{ kJ/kg}$; $s_3 = 5.6159 \text{ kJ/kgK}$ (A5)

$P_4=20 \text{ kPa}$ ve $s_4=s_3$

$$X=(s_4-s_f)/s_{fg} = (5.6159 - 0.8320)/7.0752 = 0.6761$$

$$h_4=h_f+x.h_{fg} = 251.42 + (0.6761)(2357.5) = 1845.3 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{giren} = h_3-h_2=2725.5 - 261.57 = 2463.9 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{çıkan} = h_4-h_1=1845.3 - 251.42 = 1594.0 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{erim}=1 - q_{çıkan}/q_{giren} = 1 - 1594/2463.9 = 0.353$$

BUHARLI GÜÇ ÇEVİRİMLERİNİN İKİNCİ YASA ÇÖZÜMLEMESİ

Sürekli-akışlı sistemlerde ekserji

$$\dot{X}_{\text{dest}} = T_0 \dot{S}_{\text{gen}} = T_0 (\dot{S}_{\text{out}} - \dot{S}_{\text{in}}) = T_0 \left(\sum_{\text{out}} \dot{m} s + \frac{\dot{Q}_{\text{out}}}{T_{b,\text{out}}} - \sum_{\text{in}} \dot{m} s - \frac{\dot{Q}_{\text{in}}}{T_{b,\text{in}}} \right) \quad (\text{kW})$$

$$x_{\text{dest}} = T_0 s_{\text{gen}} = T_0 \left(s_e - s_i + \frac{q_{\text{out}}}{T_{b,\text{out}}} - \frac{q_{\text{in}}}{T_{b,\text{in}}} \right) \quad (\text{kJ/kg}) \quad \text{Sürekli akışlı, bir girişli, bir çıkışlı}$$

$$x_{\text{dest}} = T_0 \left(\sum \frac{q_{\text{out}}}{T_{b,\text{out}}} - \sum \frac{q_{\text{in}}}{T_{b,\text{in}}} \right) \quad (\text{kJ/kg}) \quad \text{Bir çevrimin ekserjisi}$$

$$x_{\text{dest}} = T_0 \left(\frac{q_{\text{out}}}{T_L} - \frac{q_{\text{in}}}{T_H} \right) \quad (\text{kJ/kg}) \quad \text{For a cycle with heat transfer only with a source and a sink}$$

$$\psi = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) + \frac{V^2}{2} + gz \quad (\text{kJ/kg}) \quad \text{Stream exergy}$$

ÖRNEK

Basit ideal Rankine çevrimine göre çalışan, buharlı bir güç santralinde buhar, türbine 3 MPa basınç ve 350 °C sıcaklıkta girmekte ve 75 kPa basınçta yoğunlaşmaktadır. Toplam olarak çevrim için tersinmezliği hesaplayın. Ayrıca türbinden çıkan buharın kullanılabilirliğini hesaplayın. Çevrimin ısı aldığı ortamın veya kazanın 1600 K sıcaklıkta olduğunu, çevrimden ısı atılan ortamın ise 290 K sıcaklık ve 100 kPa basınçta bulunduğunu kabul edin.

1-2 ve 3-4 hal değişimleri izantropiktir, başka bir deyişle, sabit entropide gerçekleşmektedir ($s_1 = s_2$, $s_3 = s_4$). Bu nedenle 1-2 ve 3-4 hal değişimlerinde içten veya dıştan tersinmezlikler yoktur:

$$x_{\text{dest}, 12} = 0 \quad \text{and} \quad x_{\text{dest}, 34} = 0$$

$$\begin{aligned} s_2 &= s_1 = s_f @ 75 \text{ kPa} = 1.2132 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \\ s_4 &= s_3 = 6.7450 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad (\text{at } 3 \text{ MPa}, 350^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{\text{dest}, 23} &= T_0 \left(s_3 - s_2 - \frac{q_{\text{in}, 23}}{T_{\text{source}}} \right) \\ &= (290 \text{ K}) \left[(6.7450 - 1.2132) \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} - \frac{2728.6 \text{ kJ/kg}}{1600 \text{ K}} \right] \\ &= 1109.7 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{\text{dest}, 41} &= T_0 \left(s_1 - s_4 + \frac{q_{\text{out}, 41}}{T_{\text{sink}}} \right) \\ &= (290 \text{ K}) \left[(1.2132 - 6.7450) \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} + \frac{2018.6 \text{ kJ/kg}}{290 \text{ K}} \right] \\ &= 414.4 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Çevrimin tersinmezliği,

$$\begin{aligned} x_{\text{dest}, \text{cycle}} &= x_{\text{dest}, 12} + x_{\text{dest}, 23} + x_{\text{dest}, 34} + x_{\text{dest}, 41} \\ &= 0 + 1109.7 \text{ kJ/kg} + 0 + 414.4 \text{ kJ/kg} \\ &= 1524.1 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Türbinden çıkan buharın kullanılabilirliği (iş potansiyeli), kinetik ve potansiyel enerjileri ihmal edilirse,

$$\begin{aligned}\psi_4 &= (h_4 - h_0) - T_0(s_4 - s_0) + \frac{V_4^2}{2} + gz_4 \\ &= (h_4 - h_0) - T_0(s_4 - s_0)\end{aligned}$$

$$h_0 = h_{@ 290 \text{ K}, 100 \text{ kPa}} \cong h_f @ 290 \text{ K} = 71.355 \text{ kJ/kg}$$

$$s_0 = s_{@ 290 \text{ K}, 100 \text{ kPa}} \cong s_f @ 290 \text{ K} = 0.2533 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$\begin{aligned}\psi_4 &= (2403.0 - 71.355) \text{ kJ/kg} - (290 \text{ K})[(6.7450 - 0.2533) \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}] \\ &= 449.1 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Başka bir deyişle, türbinden çıkan buhar eğer tersinir olarak çevre koşullarına getirilebilirse, 449.9 kJ/kg iş elde etmek mümkün olur. Bu değer çevrimin net işinin yüzde 70'idir.