

- Giriş ve Temel Kavramlar
- Enerji Dönüşümleri ve Genel Enerji Çözümlemesi
- Saf Maddelerin Özellikleri
- Kapalı Sistemlerin Enerji Analizi
- Kontrol Hacimleri İçin Enerji Analizi
- Termodinamiğin 2. Yasası
- Entropi

Bölüm1

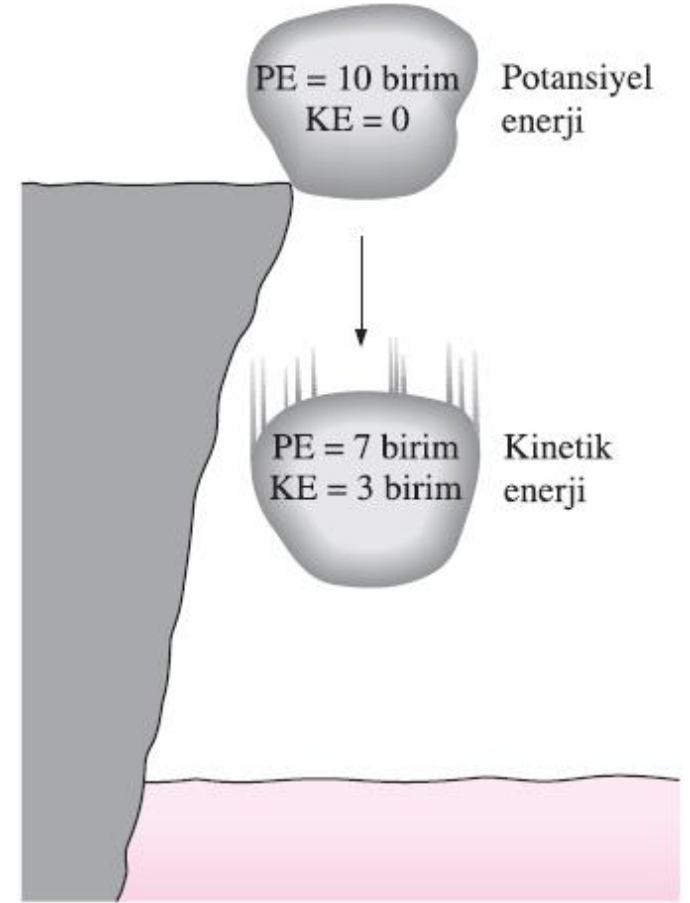
GİRİŞ VE TEMEL KAVRAMLAR

Amaçlar

- Termodinamiğin ilkelerinin geliştirilmesinin sağlam bir alt yapı üzerine oturması için temel kavramların açık bir şekilde tanımlanması ile ilgili termodinamiğe özgü dilin belirlenmesi.
- SI birim sisteminin incelenmesi
- Sistem, hal, hal varsayımı, denge, hal değişimi ve çevrim gibi termodinamiğin temel kavramlarının açıklanması.

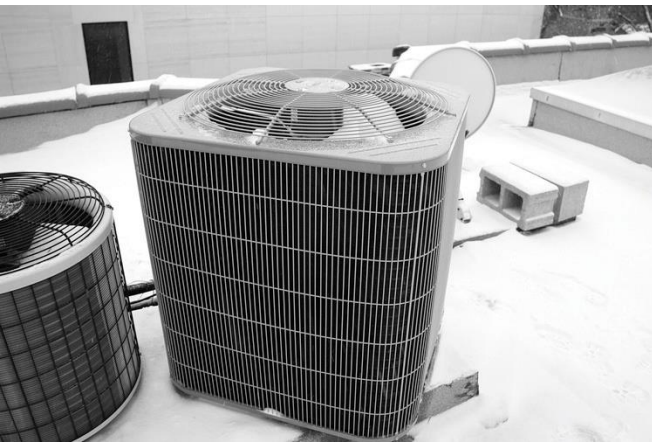
TERMODİNAMİK VE ENERJİ

- **Termodinamik:** Enerjinin bilimi.
- **Enerji:** Değişikliklere sebep olma yeteneği.
- Termodinamik sözcüğü, Latince therme (ısı) ile dynamis (güç) sözcüklerinden türemiştir.
- **Enerjinin korunumu prensibi:** Bir etkileşim esnasında, enerji, bir formdan başka bir forma dönüşebilir, ama enerjinin toplam miktarı, sabit kalır.
- Enerji yaratılamaz veya yok edilemez.
- **Termodinamiğin birinci yasası:** Enerjinin korunumu ilkesini ifade eder.
- Birinci yasa enerjinin termodinamikle ilgili bir özellik olduğunu öne sürer.



Enerji var veya yok edilemez
sadece biçim değiştirebilir (1.yasa)

Termodinamiğin Uygulama Alanları



BOYUTLAR VE BİRİMLERİN ÖNEMİ

- Herhangi bir fiziksel büyüklük **boyutları** ile nitelenir.
- Boyutlara atanan büyüklükler **birimlerle** ifade edilir.
- **SI sistemi**: Değişik birimlerin kendi aralarında onlu

sisteme göre düzenlendiği, basit ve mantıklı bir

sistemdir.

TABLO 1-1

Yedi ana boyut ve SI birimleri

Boyut	Birim
Uzunluk	metre (m)
Kütle	kilogram(kg)
Zaman	saniye (s)
Sıcaklık	kelvin (K)
Elektrik akımı	amper (A)
Işık şiddeti	candel (cd)
Madde miktarı	mol (mol)

TABLO 1-2

SI birimindeki standart önekler

10'un katı	ön ek
10^{12}	tera, T
10^9	giga, G
10^6	mega, M
10^3	kilo, k
10^2	hekto, h
10^1	deka, da
10^{-1}	desi, d
10^{-2}	santi, c
10^{-3}	milli, m
10^{-6}	mikro, μ
10^{-9}	nano, n
10^{-12}	piko, p

Kuvvet=Kütle.İvme

$$F=m.a$$

$$N = 1\text{kg} \cdot 1 \frac{m}{s^2} = \text{kg} \cdot \frac{m}{s^2}$$

$$\text{Basınç} = \frac{\text{Kuvvet}}{\text{Yüzey Alan}}$$

$$P = \frac{F}{A} \quad ; \quad \text{Pascal} = \frac{N}{m^2}$$

Ağırlık=Kütle.yerçekimi ivmesi

$$W=m.g = \text{kg} \cdot \frac{m}{s^2} = N$$

İş=Kuvvet.Yol

$$E=F.x$$

$$\text{Joule}=N.m$$

$$\text{Güç} = \frac{\text{İş}}{\text{Zaman}}$$

$$W = \frac{E}{t}$$

$$\text{Watt} = \frac{\text{Joule}}{s}$$

$\dot{m} = \text{Kütlesel debi}, \frac{kg}{s}$

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{v}$$

$\rho = \text{Yoğunluk}, \frac{kg}{m^3}$

$\dot{v} = \text{Hacimsel debi}, \frac{m^3}{s}$

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A$$

$\rho = \text{yoğunluk}, \frac{kg}{m^3}$

$v = \text{hız}, \frac{m}{s}$

$A = \text{iç kesit alan}, m^2$

Isı-----> kcal
1 cal = 4.1868 J

Sıcaklık-----> °C
Mutlak sıcaklık -----> K
 $K=273.15 + °C$

Yerçekimi ivmesi: $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$

Newton dönüşüm faktörü: $gc = 1$

Basınç.Hacim = Enerji

$P.V = \text{Enerji}$

$kPa.m^3 = kJ$

Pot.fark. Akım. zaman = Enerji

volt. amper. s = Joule

$V.I.t = J$

$R = 8.314 \frac{kPa.m^3}{kmol.K}$ (Genel)

$R = \dots \dots \dots \frac{kPa.m^3}{kg.K}$ (Bireysel)

ENERJİNİN FORMLARI 2 TÜRLÜDÜR

1-POTANSİYEL ENERJİ 2-KİNETİK ENERJİ

POTANSİYEL ENERJİ (E_p)

Depolanmış ve yerçekimi ile sahiplenilmiş enerji

Kimyasal enerji: Atom ve molekül yapı zincirlerinde depolanmış biokütle, petrol, doğal gaz, kömür, vs.

Nükleer enerji: Atom çekirdeğinde depolanmış ve çekirdeği bir arada tutan enerji (Uranyum atomlarının sahip olduğu enerji)

Depolanmış mekanik enerji: Bir kuvvet uygulanarak depo edilmiş ve ihtiyaç duyunca açığa çıkarılan ve mekanik enerjiye çevrilen enerji (gerilmiş lastik, sıkıştırılmış yay)

Yerçekimi enerjisi: Zemine göre alınan yükseklik mesafesi ile sahip olunan enerji (hidroelektrik santrallerde yerçekimli potansiyel enerjiye sahip olunur, su serbest bırakılarak bu enerji kinetik enerjiye çevrilir)

POTANSİYEL ENERJİ (E_p)

Sistemin tüm kütlesi için:

Pot.enerji = kütle.yerçekimi ivmesi.yükseklik

$$E_p = m \cdot g \cdot h = kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m = N \cdot m = J$$

Sistemin sadece 1 kg'ı için: (yani birim kütle başına)

$$E_p = g \cdot h = \frac{m}{s^2} \cdot m = \frac{m^2}{s^2} \quad (\text{Bu halde kg ile çarpıp bölümlim})$$

$$E_p = \frac{m^2}{s^2} \frac{kg}{kg} = kg \frac{m}{s^2} \cdot m \cdot \frac{1}{kg} = \frac{N \cdot m}{kg} = \frac{J}{kg}$$

$$\text{SONUÇ: } E_p = g \cdot h = \frac{m}{s^2} \cdot m = \frac{m^2}{s^2} = \frac{J}{kg}$$

POTANSİYEL ENERJİ AÇISINDAN GÜÇ ELDESİ

$$\dot{m} = \text{kütlesel debi} = \frac{kg}{s}$$

$$\text{Güç} = \dot{m} \cdot g \cdot h$$

$$\text{Güç} = \text{kütlesel debi} \cdot \text{yerçekimi ivmesi} \cdot \text{yükseklik}$$

$$\text{Güç} = \frac{kg}{s} \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m = \frac{N \cdot m}{s} = \frac{J}{s} = \text{Watt}$$

ÖRNEK

80 KG ağırlığında bir kişi 30 kg ağırlığındaki bavulu ile birlikte asansöre binerek 35 m yükseklikte bulunan 10.katta asansörden inmektedir. Asansör motoru tarafından harcanan gücü bulunuz?

$$\text{Güç} = m \cdot g \cdot h =$$

$$(80+30)\text{kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 35\text{m} \cdot \frac{\text{Ns}^2}{\text{kg} \cdot \text{m}} \cdot \frac{\text{J}}{\text{N} \cdot \text{m}} \cdot \frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}} = 37.7 \text{ kJ}$$

ENERJİNİN FORMLARI 2 TÜRLÜDÜR

1-POTANSİYEL ENERJİ, 2-KİNETİK ENERJİ

KİNETİK ENERJİ (Ek)

Atomların, dalgaların, elektronların, moleküllerin, maddelerin hareketi ve hızı ile ortaya çıkar.

Radiant enerji: Enine dalgaların hareketi ile oluşan elektromagnetik enerji
X-ray ışınları, gamma ışınları, radyo dalgaları, güneş enerjisi.

Thermal enerji: Madde içindeki atom ve moleküllerin ötelenme, dönme ve titreşim

hareketlerinden oluşan enerji, jeotermal enerji

Hareket enerjisi: Maddelerin bir yerden başka bir yere pozisyon değiştirmesi (rüzgar enerjisi, hidroelektrik santralde su)

Ses enerjisi: Madde içinden geçen sıkıştırma, yayınma halindeki hareket ile oluşan enerji

Elektrik enerjisi: Elektronların hareketi sonucu oluşan enerji(yıldırım, elektrik akımı)

KİNETİK ENERJİ (Ek)

Sistemin tüm kütlesi için:

Kinetik enerji = $\frac{1}{2}$. kütle. hızın karesi

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = kg \cdot \frac{m^2}{s^2} = N \cdot m = J$$

Sistemin sadece 1 kg'ı için: (yani birim kütle başına)

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot v^2 = \frac{m^2}{s^2} \quad (\text{Bu halde kg ile çarpıp bölelim})$$

$$E_k = \frac{m^2}{s^2} \frac{kg}{kg} = kg \frac{m}{s^2} \cdot m \cdot \frac{1}{kg} = \frac{N \cdot m}{kg} = \frac{J}{kg}$$

$$\text{SONUÇ: } E_k = \frac{1}{2} \cdot v^2 = \frac{m^2}{s^2} = \frac{J}{kg}$$

KİNETİK ENERJİ AÇISINDAN GÜÇ ELDESİ

$$\dot{m} = \text{kütlesel debi} = \frac{kg}{s}$$

$$\text{Güç} = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot v^2$$

Güç = kütlesel debi.hızın karesi

$$\text{Güç} = \frac{kg}{s} \cdot \frac{m^2}{s^2} = \frac{N.m}{s} = \frac{J}{s} = \text{Watt}$$

ÖRNEK

1500 kg kütlesindeki bir otomobilin gücü 75 kW olarak verilmiştir. Düz yolda bulunan bu arabayı tam güçte $85 \frac{km}{h}$ hıza ulaştırmak için gerekli olan süreyi bulunuz?

$$1km=1000 m \ ; \quad 1 h = 3600 s \quad ; \quad kW = \frac{kJ}{s}$$

$$85 \frac{km}{h} \cdot \frac{1000 m}{1 km} \cdot \frac{1 h}{3600 s} = 23.6 \frac{m}{s}$$

$$W_{araba} = \frac{1}{2} m(V_2^2 - V_1^2) = \frac{1}{2} \cdot 1500 \text{ kg} \cdot (23.6^2 - 0^2) \frac{m^2}{s^2} = 415.11 \text{ kJ}$$

$$T = \frac{W_{araba}}{W} = \frac{415.11 \text{ kJ}}{75 \frac{kJ}{s}} = 5.535 \text{ s}$$

ÖRNEK

Bir odada bulunan 2 kW gücündeki bir elektrikli ısıtıcı 30 dk açık konumda tutulmaktadır. Isıtıcıdan odaya geçen ısı miktarını **kJ olarak** bulunuz?

$$kW = \frac{kJ}{s} \quad ; \quad \text{dolayısıyla} \quad \frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kW s}} = 1$$

$$60 \text{ s} = 1 \text{ dk} \quad ; \quad \text{dolayısıyla} \quad \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ dk}} = 1$$

$$2 \text{ kW} \cdot \frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kW s}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ dk}} \cdot 30 \text{ dk} = 3600 \text{ kJ}$$

ÖRNEK

Bir fan, durgun bir havayı $12 \frac{m}{s}$ hıza $3 \frac{m^3}{dk}$ debi ile ivmelendirmektedir. Havanın yoğunluğu $1.15 \frac{kg}{m^3}$ olduğuna göre; fana verilen gücü hesaplayınız?

$$\text{GÜÇ} = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot v^2$$

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{v} = 1.15 \frac{kg}{m^3} \cdot 3 \frac{m^3}{dk} \cdot \frac{1 dk}{60 s} = 0.0575 \frac{kg}{s}$$

$$\text{GÜÇ} = \frac{1}{2} \cdot 0.0575 \frac{kg}{s} \cdot 12^2 \frac{m^2}{s^2} = 4.14 \text{ W}$$

kWh = Kilowattsaat

Bilindiği gibi $1 \text{ kW} = \frac{1 \text{ kJ}}{\text{s}}$

$1 \text{ dk} = 60 \text{ s}$, $60 \text{ dk} = 1 \text{ h}$, $3600 \text{ s} = 1 \text{ h}$

$$1 \text{ kWh} \cdot \frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kW s}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 3600 \text{ kJ}$$

SONUÇ: $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$

ÖRNEK

Bir ev içerisinde televizyon 1 günde 8 saat açık tutulmaktadır. Televizyon 180 W elektrik gücü harcamaktadır. Her kilowattsaat (kWh) için elektriğin birim fiyatı 0.5 TL olduğuna göre; televizyonun 1 ay (30 gün) boyunca harcadığı elektriğin maliyeti (TL/ay) ne olur?

$$180 \text{ W} \cdot \frac{0.5 \text{ TL}}{1 \text{ kWh}} \cdot \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \cdot \frac{8 \text{ h}}{1 \text{ gün}} \cdot \frac{30 \text{ gün}}{1 \text{ ay}} = 21.6 \frac{\text{TL}}{\text{ay}}$$

ÖRNEK

İçerisinde 40 öğrenci bulunan bir sınıfın sıcaklığı, pencereye takılacak olan 5 kW gücünde klima cihazları ile soğutularak sabit tutulacaktır. Oturmakta olan bir insandan(öğrenci) çevre ortama (sınıf) 1 saatte 360 kJ ısı geçişi olduğu kabul edilsin. Ayrıca sınıfta her biri 100 W gücünde 10 adet ampül vardır ve yanmaktadır. Sınıfa duvar ve pencerelerden 1 saatte 15000 kJ ısı geçişi olmaktadır. Sınıfın sıcaklığını sabit tutabilmek için kaç adet klima kullanılması gereklidir?

$Q_{giren} = Q_{çıkan}$ olmalı ki, sınıfın sıcaklığı sabit kalsın

$Q_{girenler} = Q_{öğrenci} + Q_{ampül} + Q_{duvar-penc.}$

$$Q_{öğrenci} = 360 \frac{kJ/h}{1 \text{ öğrenci}} \cdot 40 \text{ öğrenci} \cdot \frac{1 h}{3600 s} = 4 \text{ kW}$$

$$Q_{ampül} = 100 \frac{J/s}{1 \text{ ampül}} \cdot 10 \text{ ampül} = 1 \text{ kW}$$

$$Q_{duvar-pencere} = 15000 \frac{kJ}{s} \cdot 1 \frac{h}{3600 s} = 4.16 \text{ kW}$$

$$Q_{girenler} = 4 + 1 + 4.16 = 9.16 \text{ kW}$$

$$\text{İhtiyaç duyulan klima sayısı} = \frac{9.16 \text{ kW}}{5 \text{ kW}} = 2 \text{ klima}$$

U = İç enerji (tüm atom ve moleküllerin ötelenme, dönme, titreşim, elektronik vs. tüm mikroskobik enerjilerinin toplamı)

E = Sistemin toplam enerjisi

$$E = U + E_k + E_p$$

$$E = U + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h \quad (\text{J})$$

e = Sistemin 1 kg'ı başına toplam enerjisi

$$e = u + e_k + e_p$$

$$e = u + \frac{1}{2} \cdot v^2 + g \cdot h \quad \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right)$$

$$e = \frac{E}{m} \quad \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right) \quad \check{E} = \dot{m} \cdot e \quad \left(\frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W}\right)$$

$$E = U + E_k + E_p$$

$E_k + E_p =$ Mekanik enerji

$$e_{mekanik} = \frac{P}{\rho} + \frac{1}{2} \cdot v^2 + g \cdot h$$

$e_{mekanik} =$ Akış enerjisi + kinetik en. + pot.en.

Akış enerjisi = f(Basınç farkı)

Kinetik enerji = f(hız)

Potansiyel enerji = f(yükseklik)

Akış halindeki bir akışkanın toplam mekanik enerjisi Ėmekanik olduğuna göre;

$$\dot{E}_{\text{mekanik}} = \dot{m} \cdot e(\text{mek.})$$

$$\dot{E}_{\text{mekanik}} = \dot{m} \cdot \left(\frac{P}{\rho} + \frac{1}{2} \cdot v^2 + g \cdot h \right)$$

Toplanabilir özelliğinden dolayı hepsinin birimi aynı olmalıdır.

$$\dot{m} \cdot \frac{P}{\rho} = \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{atm}}{\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \cdot \frac{1.013 \times 10^5 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}} \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}^2 \text{ Pa}} \cdot \frac{\text{J}}{\text{N} \cdot \text{m}} = \mathbf{W}$$

$$\dot{m} \cdot \frac{1}{2} \cdot v^2 = \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}} = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \mathbf{W}$$

$$\dot{m} \cdot g \cdot h = \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}} = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \mathbf{W}$$

ÖRNEK

Göl seviyesinde 90 m yükseklikte ortalama hızı

$3 \frac{m}{s}$, debisi $500 \frac{m^3}{s}$ ve göle doğru akmakta olan bir nehir düşününüz. Nehir suyunun birim kütlesi için (yani 1 kg'ı için) toplam mekanik enerjisini (kJ/kg olarak) ve belirtilen yükseklikte ne kadar güç üretebileceğini (MW olarak) bulunuz? **Not: $\rho = 1.0 \frac{kg}{m^3}$**

$$e(\text{mek.}) = e_k + e_p$$

$$e_k = \frac{1}{2} \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 3^2 \frac{m^2}{s^2} \frac{kg}{kg} \frac{N s^2}{kgm} \frac{J}{Nm} \frac{1 kJ}{1000 J} = 0.0045 \frac{kJ}{kg}$$

$$\check{E}_{\text{mekanik}} = \dot{m} \cdot e(\text{mek.}) \quad ; \quad \dot{m} = \rho \cdot \dot{v}$$

$$1000 \text{ kW} = 1 \text{ MW}$$

$$e_p = g \cdot h = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 90 \text{ m} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \cdot \frac{\text{N s}^2}{\text{kg m}} \cdot \frac{\text{J}}{\text{Nm}} \cdot \frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}} = 0.8829 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$e(\text{mek.}) = e_k + e_p = 0.0045 + 0.8829 = 0.8869 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{W}_{\text{max}} = \check{E}_{\text{mekanik}} = \dot{m} \cdot e(\text{mek.})$$

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{v} = 1.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 500 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 500 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{W}_{\text{max}} = \dot{m} \cdot e(\text{mek.}) = 500 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 0.8869 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 443.45 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} =$$

$$443.45 \text{ kW} = 0.44345 \text{ MW}$$

ÖRNEK

Bir lüleden $60 \frac{m}{s}$ hız ile ve $120 \frac{kg}{s}$ kütleli debi ile çıkan su jetinin bir kasnak çevresine yerleştirilen kovalara çarpması ile güç üretilmektedir. Ne kadar güç üretilebileceğini bulunuz?

$$e(\text{mek.}) = e_k = \frac{1}{2} \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 60^2 \frac{m^2}{s^2} = 1800 \frac{J}{kg} = 1.8 \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{E}_{\text{mekanik}} = \dot{m} \cdot e(\text{mek.}) = 120 \frac{kg}{s} \cdot 1.8 \frac{kJ}{kg} = 216 \frac{kJ}{s} = 216 \text{ kW}$$

ÇALIŞMA SORUSU (ÖDEV DEĞİL)

$1 \frac{kg}{s}$ kütleli debide ve $8 \frac{m}{s}$ boşaltma hızında hava tahliyesi istenmektedir. Bu işlemi yapabilmek için elimizde $20 W$ gücünde bir fan vardır. Bu işlem için bu fan yeterli olur mu?

ÖRNEK

Belirli bir yükseklikte rüzgar $10 \frac{m}{s}$ sabit hız ile esmektedir.

a) Havanın birim kütlesi (1 kg'ı) için mekanik enerjiyi hesaplayın.

b) 60 m kanat çapına sahip rüzgar türbini ile aynı yükseklikte ne kadar güç üretilir?

$$a) e(\text{mek.}) = e_k = \frac{1}{2} \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 10^2 \frac{m^2}{s^2} \frac{kg}{kg} \cdot \frac{N s^2}{kg m} \cdot \frac{J}{Nm} \cdot \frac{1 kJ}{1000 J} = 0.05 \frac{kJ}{kg}$$

$$b) \dot{W}_{\max} = \dot{E}_{\text{mekanik}} = \dot{m} \cdot e(\text{mek.})$$

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A = 1.25 \frac{kg}{m^3} \cdot 10 \frac{m}{s} \cdot \left(\frac{\pi}{4} 60^2\right) m^2 = 35340 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{W}_{\max} = \dot{E}_{\text{mekanik}} = 35340 \frac{kg}{s} \cdot 0.05 \frac{kJ}{kg} = 1770 \text{ kW}$$

1. HAFTA ÖDEVİ

Birleşmiş Milletler İnsani Gelişim İndeksine göre, bir ülkede yıllık enerji tüketiminin 200.000 MJ/kişi civarında olması gelişmişlik açısından yeterli görülmektedir. Nüfusu 80 Milyon olan ülkemizi dikkate alarak Türkiyemizin enerji tüketimi açısından gelişmiş ülke olarak kabul edilebilmesi için;

a)Yıllık enerji ihtiyacı ne kadar olmalıdır?(MJ/yıl)

b)Güç ihtiyacı ne kadardır? (MW)

c)Her biri 2000 MW kapasitede kaç adet nükleer santrale ihtiyaç duyulur?

d)Bu enerjinin 37000 MJ/m^3 enerji yoğunluğuna sahip olan ham petrolden elde edilmesi durumunda 1 gün için kaç varil ham petrol gerekir? (1 varil = 159 L)

e) 720 MJ, kaç kWh yapar?

1. HAFTA ÖZET

$$\text{kg.m/s}^2 = \text{N} \quad ; \quad \text{N/m}^2 = \text{Pa} \quad ; \quad \text{N.m} = \text{J} \quad ; \quad \text{J/s} = \text{W}$$

$$\dot{m} = \rho.V.A \quad ; \quad \dot{m} = \rho.\tilde{V} \quad ; \quad P.V = \text{Enerji} \quad ; \quad \text{kPa.m}^3 = \text{kJ}$$

$$V.I.t = \text{Enerji} \quad ; \quad \text{volt.amper.s} = \text{J}$$

$$R(\text{Genel}) = 8.314 \text{ kPa.m}^3/\text{kmol.K} \quad ; \quad R(\text{Bireysel}) = \dots \text{ kPa.m}^3/\text{kg.K}$$

$$E_p = m.g.h \quad ; \quad \text{m}^2/\text{s}^2 = \text{J/kg} \quad ; \quad E_k = (1/2).v^2 \quad ; \quad \text{m}^2/\text{s}^2 = \text{J/kg}$$

$$\text{kWh} = \text{kW.h} \quad ; \quad 1\text{kWh} = 3600 \text{ kJ} \quad ; \quad E = U + E_k + E_p \text{ (J)} \quad ; \quad e = E/m \text{ (J/kg)}$$

$$\dot{E} = \dot{m}.e \text{ (kg/s).(J/kg)} = \text{J/s} = \text{W} \quad ; \quad W = \text{Güç} = (\text{Verim.Enerji})$$

ENERJİ DÖNÜŞÜM VERİMLERİ

- Verim, enerji dönüşümünün veya hal değişim geçişinin nasıl iyi bir şekilde başarılacağını gösterir.



$$\text{Etkinlik} = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcaması gereken değer}}$$

Su ısıtıcısının verimi:
Geleneksel ve yüksek verimli bazı elektrikli ve doğal gazlı su ısıtıcılarının verimleri

Tür	Verim
Gaz, geleneksel	55%
Gaz, yüksek verimli	62%
Elektrik, geleneksel	90%
Elektrik, yüksek verimli	94%



- **Jeneratör:** Mekanik enerjiyi elektrik enerjine dönüştürür.
- **Jeneratör verimi:** Elde edilen **elektrik gücünün** verilen mekanik güce oranıdır.
- **Güç santralleri için toplam verim:** Elde edilen net elektrik gücünün verilen yakıt enerjisine oranıdır.

TABLO 2-1

Çeşitli aydınlatma sistemlerinin etkinliği

Aydınlatma tipi	Etkinlik, lümen/W
<i>Yanma</i>	
Mum	0.2
<i>Akkor</i>	
Basit	6–20
Halojen	16–25
<i>Floresan</i>	
Basit	40–60
Yüksek çıkışlı	70–90
Kompakt	50–80
<i>Yüksek şiddetli deşarjlı</i>	
Civa buharı	50–60
Metal halide	56–125
Yüksek basınçlı sodyum	100–150
Düşük basınçlı sodyum	200'ün üzeri

Güç santrallerinde toplam verim

$$\eta_{\text{toplam}} = \eta_{\text{yanma}} \cdot \eta_{\text{ısı}} \cdot \eta_{\text{jeneratör}} = \frac{\dot{W}_{\text{net}, e}}{\text{HHV} \times \dot{m}_{\text{net}}}$$

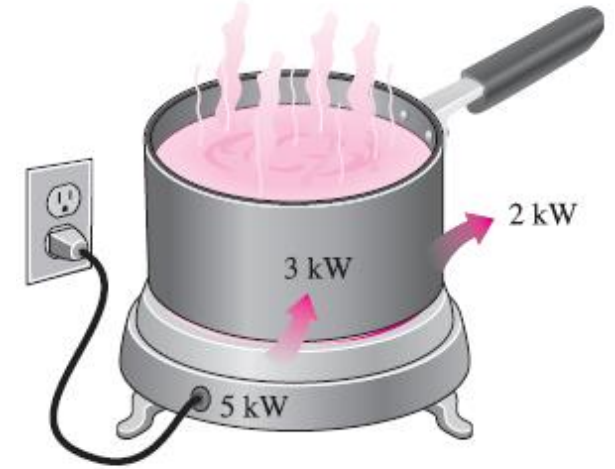
Işıklandırma etkinliği: Lümen olarak elde edilen ışık miktarının harcanan elektriğe (W olarak) oranıdır.

TABLO 2-2

Farklı cihazlarla güveç pişirilmesinin enerji maliyeti*

[From A. Wilson and J. Morrill, *Consumer Guide to Home Energy Savings*, Washington, DC: American Council for an Energy-Efficient Economy, 1996, p. 192.]

Piştirme cihazı	Piştirme sıcaklığı	Piştirme zamanı	Kullanılan enerji	Enerji maliyeti
Elektrikli fırın	350°F (177°C)	1 saat	2.0 kWh	\$0.16
Konveksiyon fırın (elek.)	325°F (163°C)	45 dakika	1.39 kWh	\$0.11
Gazlı fırın	350°F (177°C)	1 saat	0.112 therm	\$0.07
Tava	420°F (216°C)	1 saat	0.9 kWh	\$0.07
Mini fırın	425°F (218°C)	50 dakika	0.95 kWh	\$0.08
Elektrikli ocak	200°F (93°C)	7 saat	0.7 kWh	\$0.06
Mikrodalga fırın	“Yüksek”	15 dakika	0.36 kWh	\$0.03



- Verimli enerji cihazları kullanarak enerji korunur.
- Yakıtların yanması sonucu açığa çıkan ve atmosfere bırakılan kimyasallar azalacağı için çevre için faydalı olacaktır.

$$\text{Verim} = \frac{\text{Kullanılan enerji}}{\text{Cihaza sağlanan enerji}}$$
$$= \frac{3 \text{ kWh}}{5 \text{ kWh}} = 0.60$$

Yemek piştirme cihazlarının verimi cihaza verilen böylece yemeğe aktarılan enerji oranını göstermektedir.

Mekanik ve Elektrikli Cihazların Verimleri

Mekanik verim

$$\eta_{\text{mek}} = \frac{\text{Alınan mekanik enerji}}{\text{Verilen mekanik enerji}} = \frac{E_{\text{mek}, \text{ç}}}{E_{\text{mek}, \text{g}}} = 1 - \frac{E_{\text{mek}, \text{kayıp}}}{E_{\text{mek}, \text{g}}}$$

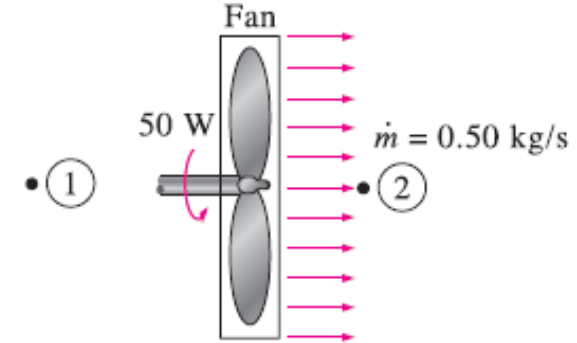
Verilen veya alınan mekanik güç ile akışkanın mekanik enerjisi arasındaki dönüşüm işleminin mükemmellik derecesi **pompa verimi** veya **türbin verimi** olarak tanımlanır.

$$\eta_{\text{pompa}} = \frac{\text{Akışkanın mekanik enerjisindeki artış}}{\text{Verilen mekanik enerji}} = \frac{\Delta \dot{E}_{\text{mek}, \text{akışkan}}}{\dot{W}_{\text{mil}, \text{g}}} = \frac{\dot{W}_{\text{pompa}, \text{f}}}{\dot{W}_{\text{pompa}}}$$

$$\Delta \dot{E}_{\text{mek}, \text{akışkan}} = \dot{E}_{\text{mek}, \text{ç}} - \dot{E}_{\text{mek}, \text{g}}$$

$$\eta_{\text{türbin}} = \frac{\text{Alınan mekanik enerji}}{\text{Akışkanın mekanik enerjisindeki azaltma}} = \frac{\dot{W}_{\text{mil}, \text{ç}}}{|\Delta \dot{E}_{\text{mek}, \text{akış.}}|} = \frac{\dot{W}_{\text{türbin}}}{\dot{W}_{\text{türbin}, \text{e}}}$$

$$|\Delta \dot{E}_{\text{mek}, \text{akışkan}}| = \dot{E}_{\text{mek}, \text{g}} - \dot{E}_{\text{mek}, \text{ç}}$$



$$V_1 = 0, V_2 = 12 \text{ m/s}$$

$$z_1 = z_2$$

$$P_1 = P_2$$

$$\begin{aligned} \eta_{\text{mek}, \text{fan}} &= \frac{\Delta \dot{E}_{\text{mek}, \text{akışkan}}}{\dot{W}_{\text{mil}, \text{g}}} = \frac{\dot{m} V_2^2 / 2}{\dot{W}_{\text{mil}, \text{g}}} \\ &= \frac{(0.50 \text{ kg/s})(12 \text{ m/s})^2 / 2}{50 \text{ W}} \\ &= 0.72 \end{aligned}$$

Bir fanın mekanik verimi, fan çıkışındaki havanın kinetik enerjisinin, fana verilen mekanik güce oranıdır.

$$\text{Motor: } \eta_{\text{motor}} = \frac{\text{Alınan mekanik güç}}{\text{Verilen elektrikselsel güç}} = \frac{\dot{W}_{\text{mil, } \zeta}}{\dot{W}_{\text{elek, g}}}$$

$$\text{Jeneratör: } \eta_{\text{jeneratör}} = \frac{\text{Alınan elektrikselsel güç}}{\text{Verilen mekanik güç}} = \frac{\dot{W}_{\text{elek, } \zeta}}{\dot{W}_{\text{mil, g}}}$$

$$\eta_{\text{pompa-motor}} = \eta_{\text{pompa}} \eta_{\text{motor}} = \frac{\dot{W}_{\text{pompa, f}}}{\dot{W}_{\text{elek, g}}} = \frac{\Delta \dot{E}_{\text{mek, akışkan}}}{\dot{W}_{\text{elek, g}}}$$

$$\eta_{\text{türbin-jen}} = \eta_{\text{türbin}} \eta_{\text{jeneratör}} = \frac{\dot{W}_{\text{elek, } \zeta}}{\dot{W}_{\text{türbin, } \zeta}} = \frac{\dot{W}_{\text{elek, } \zeta}}{\Delta \dot{E}_{\text{mek, akışkan}}}$$

Türbin-jeneratör birleşiminin toplam verimi türbin verimi ile jeneratör veriminin çarpımıdır ve elde edilen elektrik enerjisinin akışkanın mekanik enerjisine oranını gösterir.

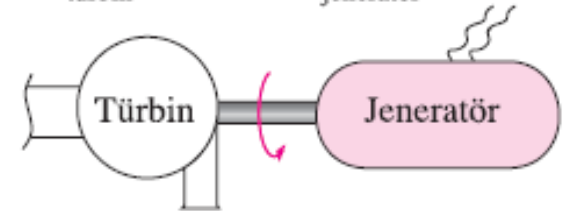
Motor verimi

Jeneratör verimi

Pompa-motor verimi

Türbin-jeneratör verimi

$$\eta_{\text{türbin}} = 0.75 \quad \eta_{\text{jeneratör}} = 0.97$$



$$\begin{aligned} \eta_{\text{türbin-jen}} &= \eta_{\text{türbin}} \eta_{\text{jeneratör}} \\ &= 0.75 \times 0.97 \\ &= 0.73 \end{aligned}$$

Mekanik Enerji

Mekanik enerji: İdeal türbin gibi mekanik bir cihazla, doğrudan ve tamamen mekanik işe dönüşebilen enerji biçimi olarak tanımlanır.

Kinetik ve potansiyel enerji: Mekanik enerjinin benzer biçimleridir.

$$e_{\text{mech}} = \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz$$

Akış halindeki bir akışkanın birim kütlede mekanik enerjisi

$$\dot{E}_{\text{mech}} = \dot{m}e_{\text{mech}} = \dot{m} \left(\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz \right)$$

Akış halindeki bir akışkanın mekanik enerjisi

Sıkıştırılmaz (ρ =sabit) akışkanlarda mekanik enerji değişimi (birim kütlede)

$$\Delta e_{\text{mech}} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \quad (\text{kJ/kg})$$

Sıkıştırılmaz (ρ =sabit) akışkanlarda mekanik enerji değişimi

$$\Delta \dot{E}_{\text{mech}} = \dot{m} \Delta e_{\text{mech}} = \dot{m} \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right) \quad (\text{kW})$$

ÖRNEK

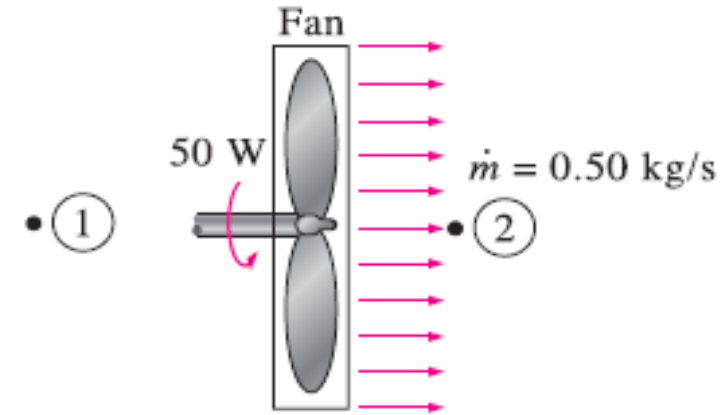
50 W gücünde bir fan, havayı $0.50 \frac{kg}{s}$ gücünde bir fan ile $12 \frac{m}{s}$ hıza çıkarmaktadır. Fanın mekanik verimi nedir?

$$\frac{s^2 N}{kgm} = 1 \quad ; \quad \frac{J}{N.m} = 1 \quad ; \quad \frac{s W}{J} = 1$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot v^2 = \frac{1}{2} * 0.50 \frac{kg}{s} \cdot 12^2 \frac{m^2}{s^2} \cdot \frac{s^2 N}{kgm} \cdot \frac{J}{N.m}$$

$$\frac{s W}{J} = 36 W$$

$$\text{Verim: } \eta = \frac{36}{50} \cdot 100 = 0.72$$



$$V_1 = 0, V_2 = 12 \text{ m/s}$$

$$z_1 = z_2$$

$$P_1 = P_2$$

$$\begin{aligned} \eta_{\text{mek, fan}} &= \frac{\Delta \dot{E}_{\text{mek, akışkan}}}{\dot{W}_{\text{mil, g}}} = \frac{\dot{m} V_2^2 / 2}{\dot{W}_{\text{mil, g}}} \\ &= \frac{(0.50 \text{ kg/s})(12 \text{ m/s})^2 / 2}{50 \text{ W}} \\ &= 0.72 \end{aligned}$$

ÖRNEK

Yoğunluğu $1.22 \frac{kg}{m^3}$ olan hava, belirli bir bölgede $14 \frac{m}{s}$ hız ile esmektedir. Bu bölgede 60 m kanat çapına sahip türbin kullanılmaktadır. Türbin verimi %32 olduğuna göre; a) Elektrik güç üretimini bulunuz?

b) 1 kWh için birim fiyat 25 kuruş olduğuna göre 1 günlük elektrik üretim gelirini hesaplayınız?

$$\dot{W}_{\text{elektrik}} = \eta \cdot \dot{E} \quad \dot{E} = \dot{m} \cdot e(\text{kinetik})$$

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A = 1.22 \frac{kg}{m^3} \cdot 14 \frac{m}{s} \cdot \left(\frac{\pi}{4} 60^2\right) m^2 = 48292.5 \frac{kg}{s}$$

$$e(\text{kinetik}) = \frac{1}{2} v^2 = \frac{1}{2} 14^2 \frac{m^2}{s^2} = 98 \frac{m^2}{s^2} = 98 \frac{J}{kg} = 0.098 \frac{kJ}{kg}$$

$$E = 48292.5 \frac{kg}{s} \cdot 0.098 \frac{kJ}{kg} = 4732.67 \text{ kW}$$

$$\text{a) } W_{\text{elektrik}} = 0.32 \cdot 4732.67 \text{ kW} = 1514.4 \text{ kW}$$

$$\text{b) } 1514.4 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h} = 36345.6 \text{ kWh}$$

$$36345.6 \frac{kWh}{\text{gün}} \cdot \frac{25 \text{ kuruş}}{1 \text{ kWh}} \cdot \frac{1 \text{ TL}}{100 \text{ kuruş}} = 9086.4 \frac{\text{TL}}{\text{gün}}$$

$$\dot{W}_{\text{elektrik}} = \eta \cdot \dot{E}$$

$$\dot{E} = \dot{m} \cdot e(\text{kinetik})$$

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A = 1.22 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 14 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \left(\frac{\pi}{4} 60^2\right) \text{m}^2 = 48292.5 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$e(\text{kinetik}) = \frac{1}{2} v^2 = \frac{1}{2} 14^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 98 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 98 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 0.098 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$E = 48292.5 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 0.098 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 4732.67 \text{ kW}$$

$$\text{a) } W_{\text{elektrik}} = 0.32 \cdot 4732.67 \text{ kW} = 1514.4 \text{ kW}$$

$$\text{b) } 1514.4 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h} = 36345.6 \text{ kWh}$$

$$36345.6 \frac{\text{kWh}}{\text{gün}} \cdot \frac{25 \text{ kuruş}}{1 \text{ kWh}} \cdot \frac{1 \text{ TL}}{100 \text{ kuruş}} = 9086.4 \frac{\text{TL}}{\text{gün}}$$

ÖRNEK

Büyük bir göldeki su, derinliğin **50 m** olduğu bir yere bir **hidrolik–türbin jeneratör grubu** yerleştirmek suretiyle elektrik üretmek için kullanılacaktır. Su türbine **5000 kg/s** kütleli debi ile girmektedir. Üretilen elektrik gücü **1862 kW** ve jeneratör verimi **0.95** tir.

- Türbin-jeneratör grubunun toplam verimini bulunuz?
- Türbinin mekanik verimini bulunuz?
- Türbinden jeneratöre verilen mil gücünü hesaplayınız?

$$\rho_{su} = 1000 \frac{kg}{m^3} ; g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$a) \eta_{\text{toplam}} = \eta_{\text{türbin}} \cdot \eta_{\text{jeneratör}} = \frac{W_{\text{elektrik,çıkan}}}{\Delta E_{\text{mek.,akışkan}}}$$

$$\Delta E_{\text{mek., akışkan}} = \dot{m} \cdot (\text{emek.,g} - \text{emek., ç})$$

$$(\text{emek.,g} - \text{emek.,ç}) = e_{\text{pot.}} - e_{\text{mek.,ç}} = gh - 0 = gh = 9.81 \frac{m}{s^2} \cdot 50 \text{ m} = 0.491 \frac{kJ}{kg}$$

$$\Delta E_{\text{mek., akışkan}} = 50000 \frac{kg}{s} \cdot 0.491 \frac{kJ}{kg} = 2455 \text{ kW}$$

$$\eta_{\text{toplam}} = \eta_{\text{türbin}} \cdot \eta_{\text{jeneratör}} = \frac{1862}{2455} = 0.76$$

$$b) \eta_{\text{toplam}} = \eta_{\text{türbin}} \cdot \eta_{\text{jeneratör}} = 0.76$$

$$\eta_{\text{türbin}} = \frac{\eta_{\text{toplam}}}{\eta_{\text{jeneratör}}} = \frac{0.76}{0.95} = 0.80$$

$$c) W_{\text{mil},\zeta} = \eta_{\text{türbin}} \cdot \Delta E_{\text{mek.}, \text{akışkan}} = 0.80 \cdot 2455$$

$$W_{\text{mil},\zeta} = 1964 \text{ kW}$$

ÇALIŞMA SORUSU (ÖDEV DEĞİL)

Yetişkin bir kişinin duş alırken yaklaşık olarak 100 L su kullandığı ve bu suyu ısıtmak için de 1.75 kWh elektrik enerjisi harcadığı varsayılmaktadır. Bir kişinin yılda 110 defa duş aldığını ve Türkiye deki yetişkin nüfusunun 50 milyon kişi olduğunu kabul ederek,

a) Sadece duş almak için bir yılda tüketilen elektrik enerjisinin miktarını bulunuz?

b) Sadece duş almak için ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin karşılanabilmesi için her biri 1000 MW kapasitede kaç adet hidroelektrik santrale ihtiyaç duyulur?

ÇALIŞMA SORUSU (ÖDEV DEĞİL)

Bir evde;

*40 Watt gücünde bir buzdolabı 24 saat aralıksız çalışmaktadır.

*Bir günde 10 saat süre ile her biri 75 Watt gücünde olan 5 ampül yanmaktadır.

*Bir günde 300 Watt gücünde televizyon 6 saat çalışmaktadır.

1 kWh enerjinin ortalama 30 kuruş olduğunu kabul ederek, bu koşullarda 1 yıllık elektrik enerji giderini TL olarak bulunuz.

1 yıl = 365 gün; 1TL = 100 kuruş

ÇALIŞMA SORUSU (ÖDEV DEĞİL)

Linyit kömürünün enerji eşdeğeri 3500 kcal/kg dır.

Fuel oil ' ün enerji eşdeğeri 9800 kcal/kg dır.

Buna göre 150 MWh enerji üreten bir santral için gerekli olan

a) linyit kömür miktarı ne kadardır (TON olarak) ?

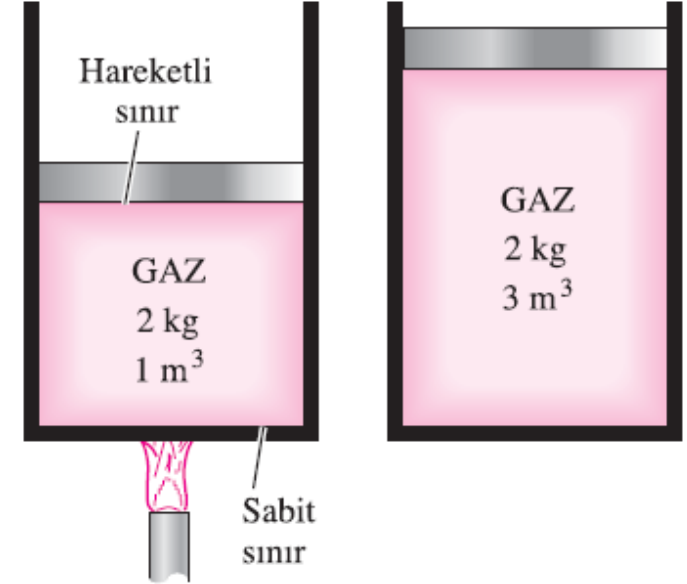
b) fuel oil- 6 miktarı ne kadardır (TON olarak) ?

$$1\text{MW} = 1000 \text{ kW} \quad ; \quad 1\text{kW} = 1000 \text{ W} \quad ;$$

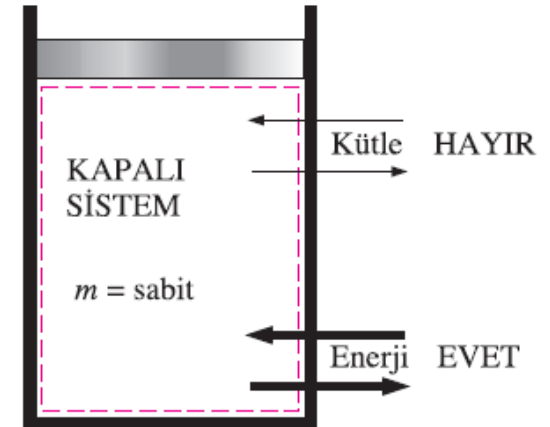
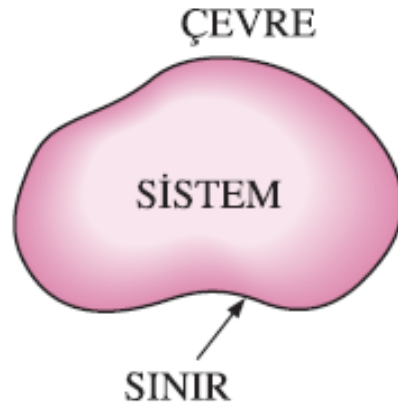
$$1 \text{ kcal} = 4.18 \text{ kJ} = 4180 \text{ J}$$

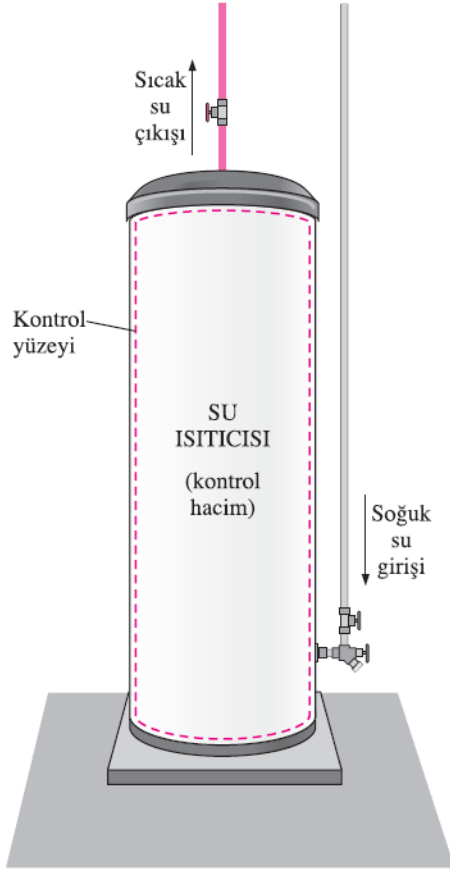
SİSTEMLER VE KONTROL HACİMLERİ

- **Sistem:** Belirli bir kütleyi veya uzayın incelenmek üzere ayrılan bir bölgesini belirtir.
- **Çevre:** Sistemin dışında kalan kütle veya bölge
- **Sınır:** Sistemi çevresinden ayıran gerçek veya hayali yüzey
- Sistemin sınırları *sabit* veya *hareketli* olabilir.
- Sistemler *kapalı* veya *açık* diye nitelendirilirler.

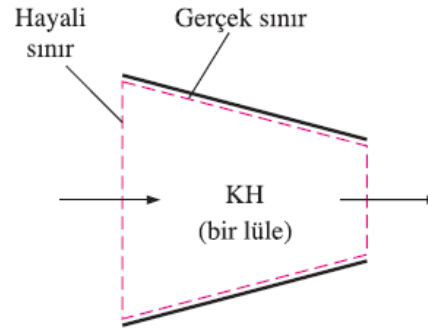


- **Kapalı sistem (Kontrol ünitesi):** Sınırlarından kütle geçişi olmayan sabit bir kütledir.

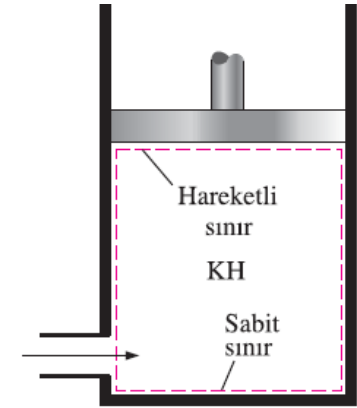




- **Açık sistem(kontrol hacmi):** Hem kütle hem de enerji kontrol hacmi sınırlarını geçebilir.
- Genellikle kompresör, türbin, lüle gibi içinden kütle akışının olduğu bir makineyi içine alır.
- **Kontrol yüzeyi:** Kontrol hacminin sınırlarına kontrol yüzeyi adı verilir ve gerçek ya da hayali olabilirler.



(a) Gerçek ve hayali sınırlı bir kontrol hacmi



(b) Sabit ve hareketli sınırlı bir kontrol hacmi

Tek girişli ve tek çıkışlı açık sistem (kontrol hacmi)

YOĞUNLUK VE ÖZGÜL AĞIRLIK

Yoğunluk

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3)$$

Özgül hacim

$$\nu = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$$

Özgül (Bağıl) yoğunluk:

Maddenin yoğunluğunun standart bir maddenin belirli bir sıcaklıktaki (genellikle 4 °C sıcaklıktaki suyun yoğunluğu) yoğunluğuna oranı

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

Özgül ağırlık: Bir

maddenin birim hacminin ağırlığına denir.

$$\gamma_s = \rho g \quad (\text{N/m}^3)$$

Yoğunluk birim hacimdeki kütle, özgül hacim ise birim kütledeki hacim, dir.

TABLO 1-3

Bazı maddelerin 0°C'de özgül ağırlıkları

Madde	SG
Su	1.0
Kan	1.05
Deniz suyu	1.025
Gaz	0.7
Etil alkol	0.79
Civa	13.6
Odun	0.3-0.9
Altın	19.2
Kemik	1.7-2.0
Buz	0.92
Hava (1 atm'de)	0.0013

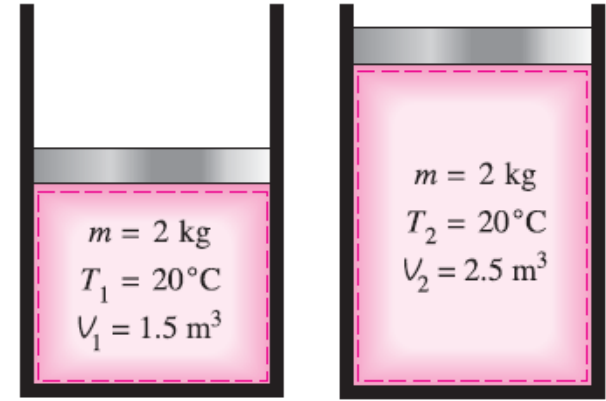
$$V = 12 \text{ m}^3$$
$$m = 3 \text{ kg}$$



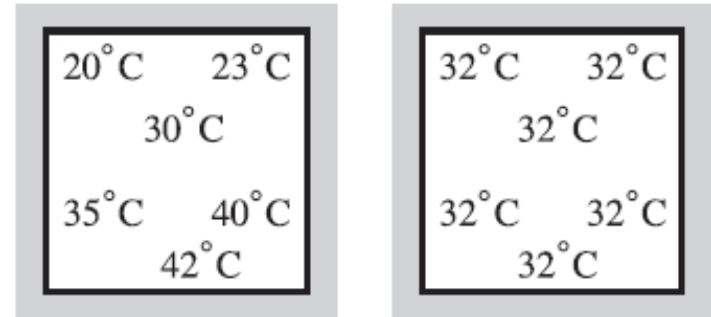
$$\rho = 0.25 \text{ kg/m}^3$$
$$\nu = \frac{1}{\rho} = 4 \text{ m}^3/\text{kg}$$

HAL VE DENGE

- Termodinamik denge halleri ile ilgilenir.
- **Denge:** Bir uzlaşma halini tanımlar.
- Denge halinde bulunan bir sistem içinde, değişimi zorlayan eşitlenmemiş bir potansiyel (ya da itici kuvvet) yoktur.
- **Isıl denge:** Sistemin her noktasında sıcaklık aynı ise
- **Mekanik denge:** Sistemin herhangi bir noktasında basıncın zamana göre değişmediği anlamına gelir.
- **Faz dengesi:** Eğer bir sistemde iki faz bulunup, her fazın kütlesi bir denge düzeyine eriştiğinde orada kalıyorsa
- **Kimyasal denge:** sistemin kimyasal bileşiminin zamanla değişmemesi, başka bir deyişle sistemde kimyasal reaksiyon olmaması anlamına gelir.



İki farklı halde bulunan bir sistem.

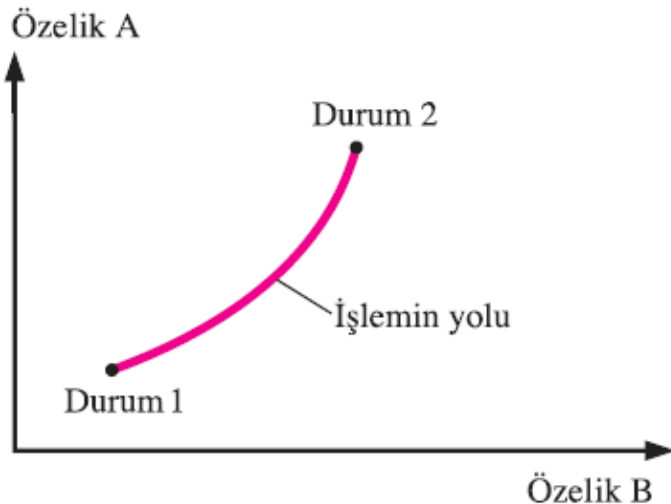


Isıl dengeye ulaşan bir kapalı sistem.

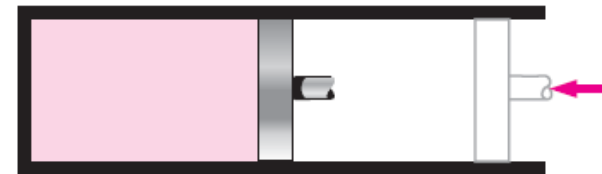
HAL DEĞİŞİMLERİ VE ÇEVİRİMLER

Hal değişimi: Sistemin bir denge halinden diğer bir denge haline geçişi

- **Yol:** Bir hal değişimi sırasında sistemin geçtiği hallerden oluşan diziye de hal değişiminin yolu denir. Bir hal değişimini tümüyle tanımlayabilmek için, sistemin ilk ve son halleri ile hal değişimi sırasında izlediği yolu ve çevreyle etkileşimlerini belirlemek gerekir.
- **Sanki-statik veya sanki dengeli süreci:** Bir hal değişimi sırasında sistem her an denge haline son derece yakın kalıyorsa, sanki statik veya sanki dengeli olarak tanımlanır.

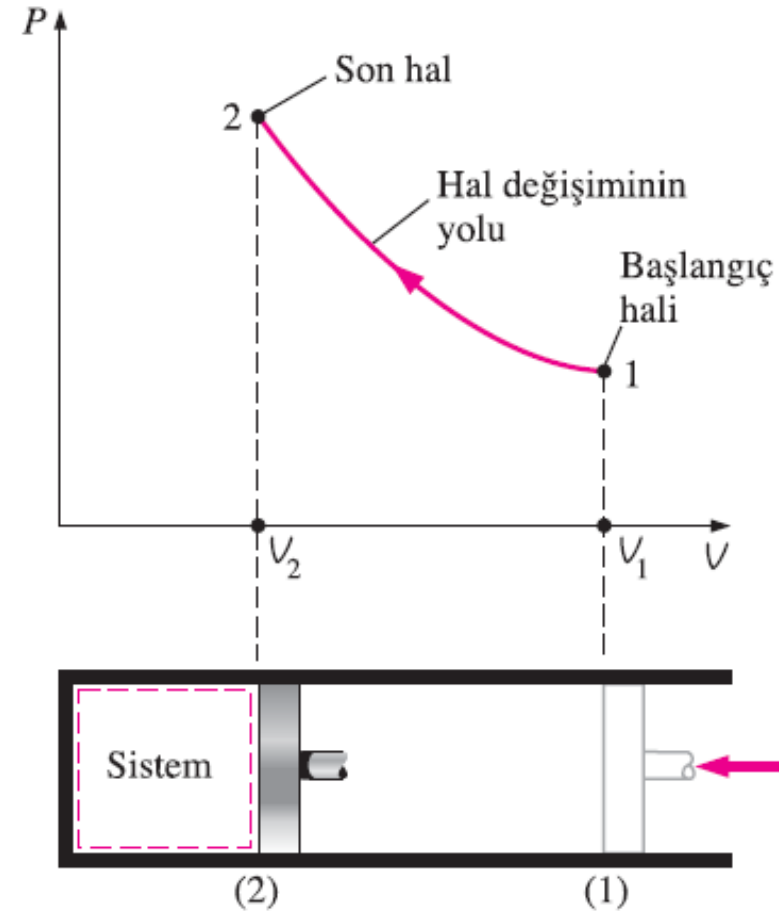


(a) Yavaş sıkıştırma
(sanki-dengeli)



(b) Çok hızlı sıkıştırma
(Dengeli değil)

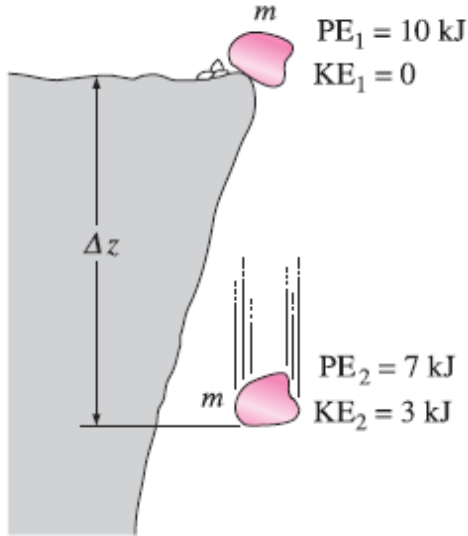
- Koordinat olarak kullanılan bazı bilinen özellikler sıcaklık T , basınç P ve hacim V (veya özgül hacim v) olarak sıralanabilir.
- Bazı hal değişimlerinde özelliklerden biri sabit kalabilir ve izo- öneki hal değişimi ile birlikte kullanılır.
- **İzotermal hal değişimi:** Bir hal değişimi sırasında **T sıcaklığı sabit** kalır.
- **İzobarik hal değişimi:** Bir hal değişimi sırasında **P basıncı sabit** kalır.
- **izokorik (veya izometrik) hal değişimi :** Bir hal değişimi sırasında **özgül hacminin sabit** kalır.
- **Çevrim:** Bir sistem geçirdiği bir dizi hal değişimi sonunda yeniden ilk haline dönmesine denir.



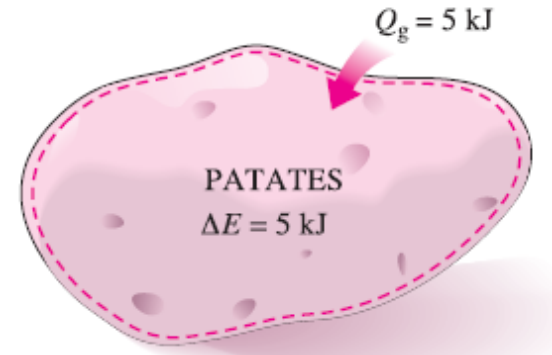
Sıkıştırma işleminin P-V diyagramı.

TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI

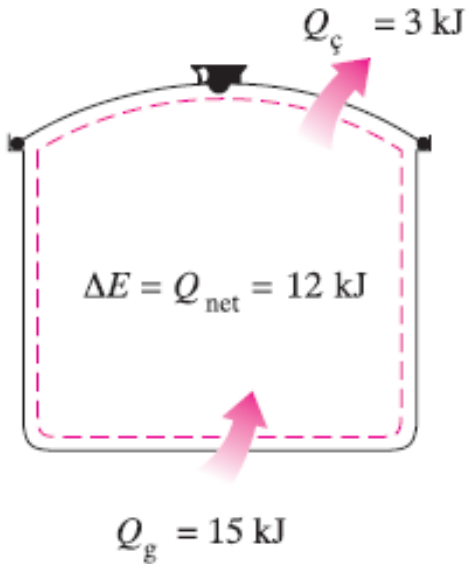
- **Termodinamiğin birinci yasası (enerjinin korunumu ilkesi):** Enerjinin değişik biçimleri arasındaki ilişkileri ve genel olarak enerji etkileşimlerini incelemek için sağlam bir temel oluşturur.
- Termodinamiğin birinci yasası deneysel gözlemlere dayanarak, **enerjinin var veya yok edilemeyeceğini, ancak bir biçimden diğerine dönüşebileceğini vurgular**.
- **Birinci Yasa:** Kapalı bir sistemin belirli iki hali arasında gerçekleşebilecek tüm adyabatik hal değişimleri sırasında yapılan **net iş**, sisteme veya hal değişimlerine bağlı olmaksızın aynıdır.



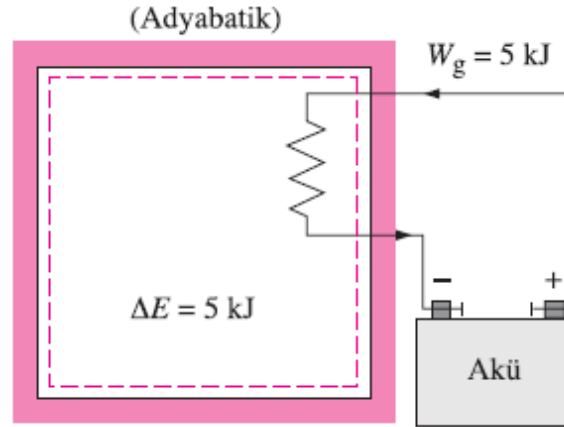
Enerji var
veya yok
edilemez,
sadece
biçim
değiştirebilir



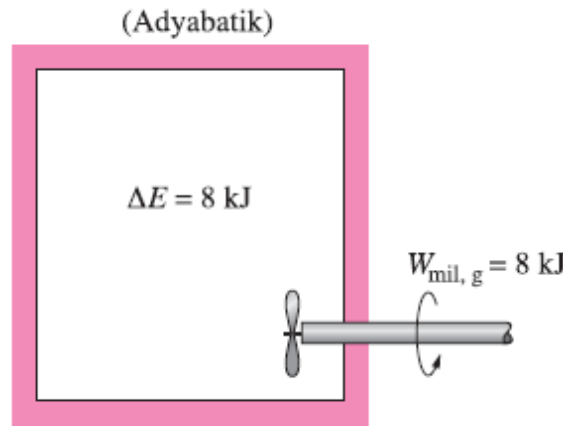
Fırındaki patatesin enerjisindeki artış, patatese geçen ısıya eşittir.



İş etkileşiminin olmaması durumunda sistemin enerji değişimi net ısı geçişine eşittir.



Adyabatik bir sistem üzerinde yapılan iş (elektrik) sistemin enerji artışına eşittir.



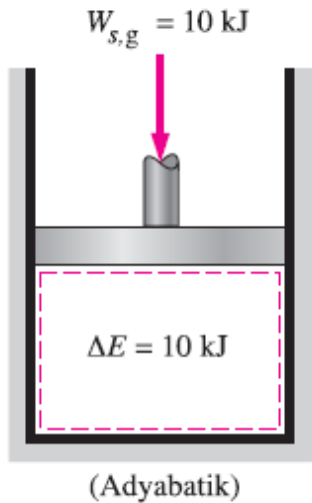
Adyabatik bir sistem üzerinde yapılan iş (mil) sistemin enerji artışına eşittir.

Enerjinin Korunumu

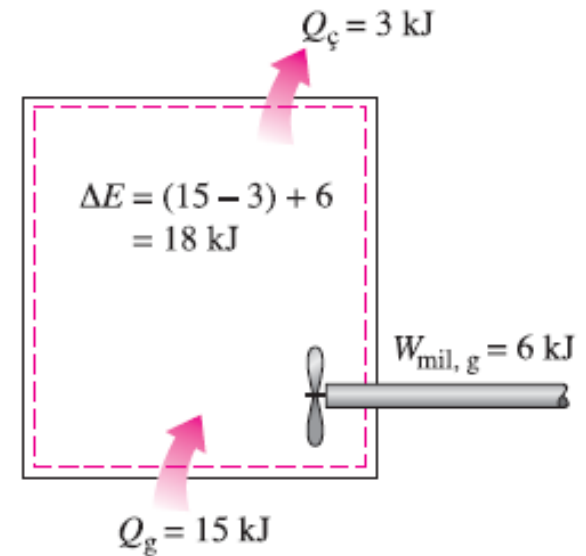
- *Enerjin korunumu ilkesi bir hal değişimi sırasında kapalı bir sistemin toplam enerjisindeki net değişim (artma veya azalma) sisteme giren toplam enerji ile sistemden çıkan toplam enerjinin farkına eşit.*

$$\left(\begin{array}{c} \text{Sisteme giren} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Sistemden çıkan} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Sistemin toplam} \\ \text{enerjisindeki değişim} \end{array} \right)$$

$$E_g - E_ç = \Delta E_{\text{sistem}}$$



Bir hal değişimi sırasında sistemin enerji değişimi, net iş ve çevreyle ısı alışverişinin toplamına eşittir.



Adyabatik bir sistem üzerinde yapılan iş (sınır) sistemin enerji artışına eşittir.

Bir Sistemdeki Enerji Değişimi , ΔE_{sistem}

Enerji değişimi = Son haldeki enerji – İlk haldeki enerji

$$\Delta E_{\text{sistem}} = E_s - E_i = E_2 - E_1$$

$$\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$$

İç, kinetik ve potansiyel enerji değişimi

$$\Delta U = m(u_2 - u_1)$$

$$\Delta KE = \frac{1}{2}m(V_2^2 - V_1^2)$$

$$\Delta PE = mg(z_2 - z_1)$$

Hareketsiz sistemler

$$z_1 = z_2 \rightarrow \Delta PE = 0$$

$$V_1 = V_2 \rightarrow \Delta KE = 0$$

$$\Delta E = \Delta U$$

Enerji Geçişinin Gerçekleşme Yolları, E_{giren} ve $E_{çıkan}$

- Isı geçişi
- İş geçişi
- Kütle transferi

Sabit kütle veya kapalı sistemlerde sadece ısı geçişi ve iş vardır

$$E_{in} - E_{out} = (Q_{in} - Q_{out}) + (W_{in} - W_{out}) + (E_{mass,in} - E_{mass,out}) = \Delta E_{system}$$

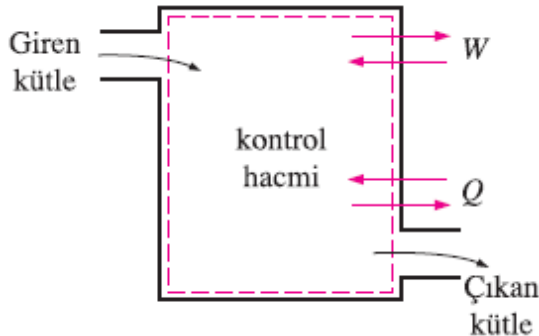
$$\underbrace{E_g - E_{\phi}}_{\text{Isı, iş ve kütle ile gerçekleşen enerji geçişi}} = \underbrace{\Delta E_{system}}_{\text{İç, kinetik, potansiyel vb. enerjilerdeki değişim}} \quad (\text{kJ}) \quad Q = \dot{Q} \Delta t \quad (\text{kJ})$$

$$\underbrace{\dot{E}_g - \dot{E}_{\phi}}_{\text{Birim zamanda, ısı, iş ve kütle ile gerçekleşen enerji geçişi}} = \underbrace{dE_{system}/dt}_{\text{Birim zamanda sistemin iç, kinetik, potansiyel vb. enerjilerindeki değişim}} \quad (\text{kW}) \quad \Delta E = (dE/dt) \Delta t$$

$$e_g - e_{\phi} = \Delta e_{system} \quad (\text{kJ/kg})$$

$$\delta E_g - \delta E_{\phi} = dE_{system} \quad \text{veya} \quad \delta e_g - \delta e_{\phi} = de_{system}$$

$$W_{net, \phi} = Q_{net, g}$$



Kütle akışı ile birlikte ısı ve iş etkileşimleri sonucu kontrol hacminin enerji içeriğinde değişim olur.

T1Y'nın kapalı sistemler için matematiksel yazılımı

$$\left(\begin{array}{c} \text{Sisteme giren} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Sistemden çıkan} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Sistemin toplam} \\ \text{enerjisindeki değişim} \end{array} \right)$$

$$\begin{array}{ccc} E_g & - & E_ç & = & \Delta U + \Delta \text{Kin.} + \Delta \text{Pot.} \\ \text{ISI} & & \text{ISI} & & \\ \text{iş} & & \text{iş} & & \\ \text{kütle giriş} & & \text{kütle çıkışı} & & \end{array}$$

Isı : Net bir şekilde belirtilir.

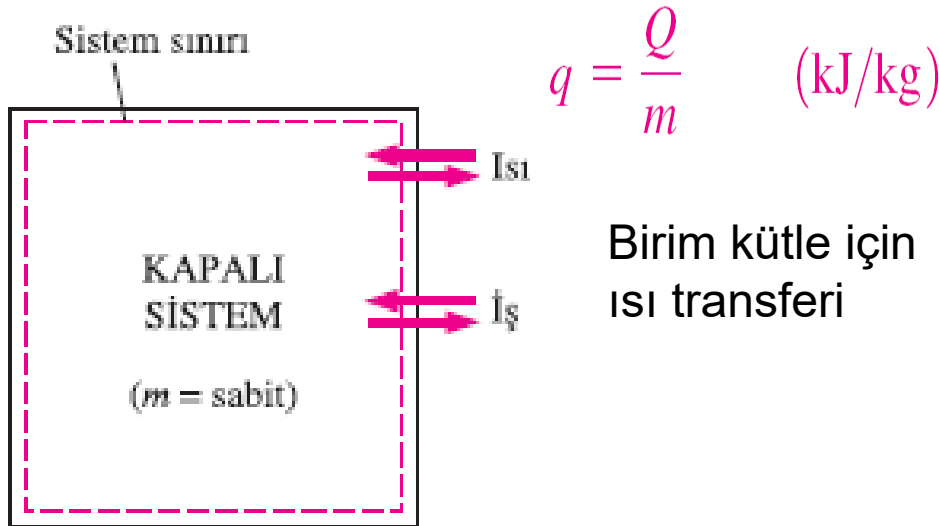
İş: Elektrik işi, yay işi, mil işi, genleşme işi, vs...

Welektrik = V.I.t (Volt.amper.sn = Joule)

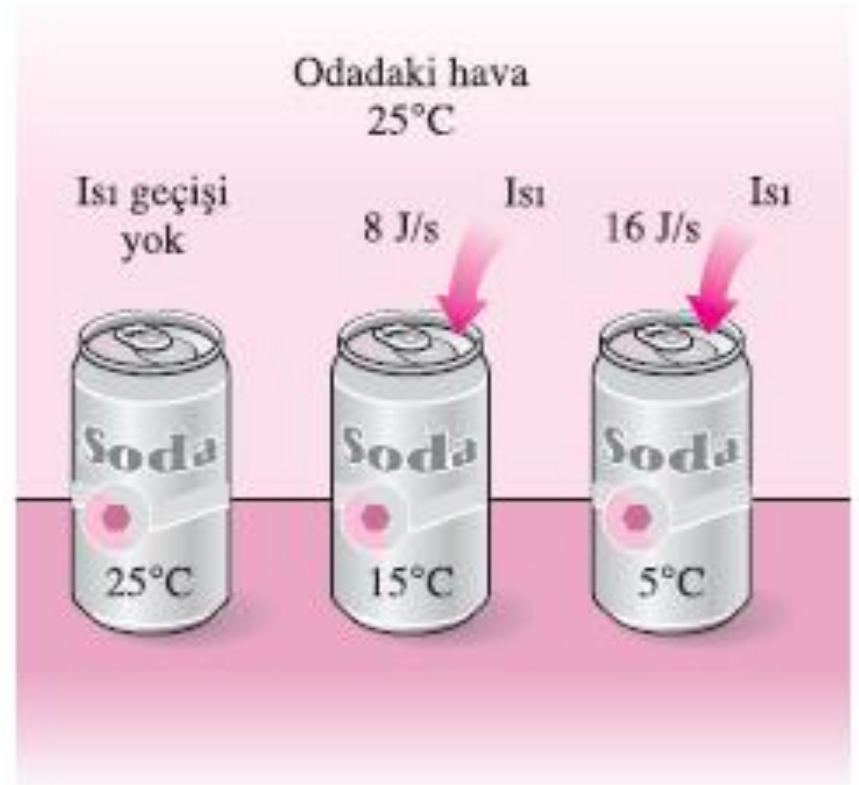
kg=kütle girişi, kç = kütle çıkışı (kg ve kç kapalı sistemlerde yoktur)

ISI İLE ENERJİ GEÇİŞİ

Isı : iki sistem arasında (veya sistemle çevresi arasında) sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen enerji geçişi diye tanımlanmıştır.



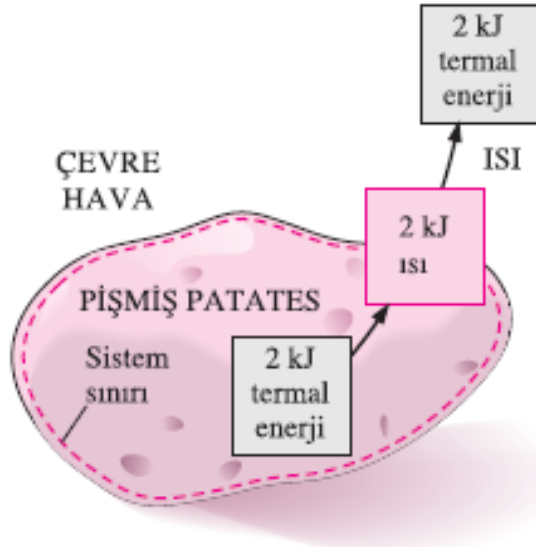
Enerji bir sistemin sınırlarından ısı veya iş olarak geçebilir.



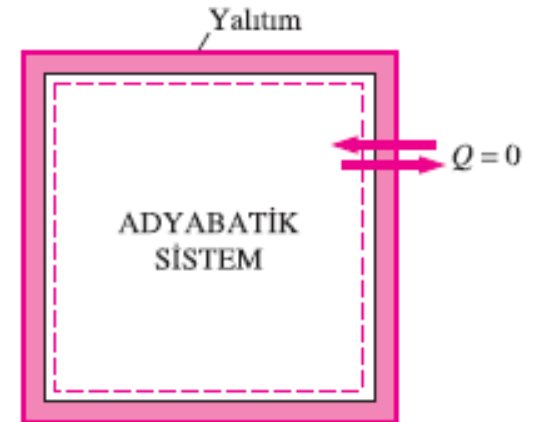
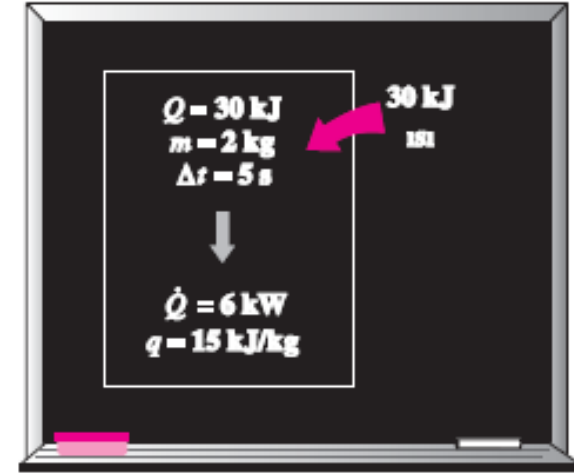
Sıcaklık farkı ısı geçişine neden olur. Yüksek sıcaklık farkı yüksek ısı geçişine neden olur.

$$Q = \dot{Q} \Delta t \quad (\text{kJ})$$

Birim zamanda geçen ısıнын sabit olması durumunda ısı transfer miktarı



Enerji, sadece sistem sınırlarını geçerken ısı olarak tanımlanabilir.



Adyabatik bir hal değişimi sırasında sistemle çevresi arasında ısı geçişi olmaz.

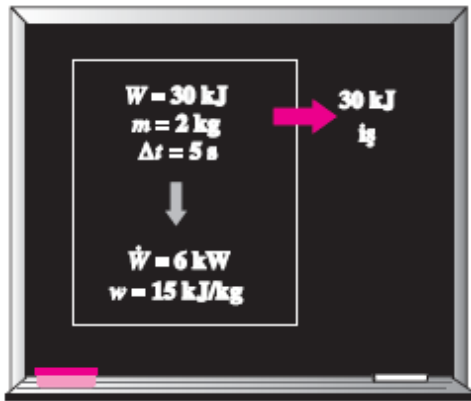
İŞ İLE ENERJİ GEÇİŞİ

İş: Sistemle çevresi arasında bir enerji alış verişidir.

Hareket halinde bir piston, dönen bir mil, sistem sınırlarını geçen bir elektrik kablosu, sistemle çevre arasında bir iş etkileşiminin olduğunu gösterir.

$$w = \frac{W}{m} \quad (\text{kJ/kg})$$

birim kütle için yapılan iş



Güç, birim zamanda yapılan iş

Isı ve iş

- Her ikisi de sistemin sınırlarını geçerken anlam kazanır. Başka bir deyişle, ısı ve iş sınır olgularıdır.
- Sistemlerin enerjileri vardır, fakat ısı ve işleri yoktur.
- Her ikisi de bir hal ile değil, bir hal değişimi ile ilişkilidir
- Özellikler bir hal için belirlenir, oysa bir haldeki ısı ve işten söz etmenin hiçbir anlamı yoktur.
- Her ikisi de yola bağımlı fonksiyonlardır. (Başka bir deyişle, değerleri sadece ilk ve son hale değil, aynı zamanda hal değişiminin nasıl gerçekleştiğine bağlıdır.

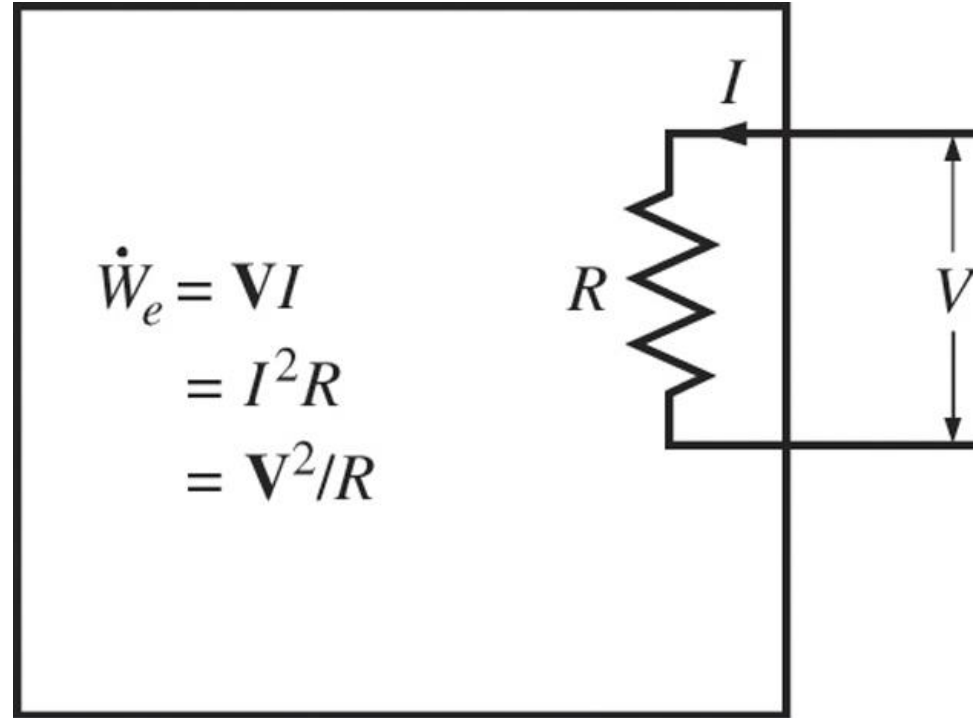
Elektrik İşi

Hem V hem de I zamana bağlıdır. Bu bakımdan Δt zaman aralığında yapılan elektrik işi

$$W_e = \int_1^2 \mathbf{VI} dt \quad (\text{kJ})$$

V ve I sabit kalıyorsa, bu bağıntı

$$W_e = \mathbf{VI} \Delta t \quad (\text{kJ})$$



Elektrik gücünün, direnç R , akım I ve potansiyel farkı V ile gösterilmesi.

$$W_e = V \cdot I \cdot t$$

$$W_e = \text{Volt} \cdot \text{amper} \cdot \text{s} = \text{J}$$

ÖRNEK

Yalıtılmış bir piston-silindir düzeneğinde doygun halde su bulunmaktadır. Bu su, silindir içinde bulunan ve içerisinden 8 A akım geçen elektrikli ısıtıcı ile 45 dk boyunca ısıtılmaktadır. Elektrik kaynağının potansiyeli 220 V olduğuna göre; elektrikli ısıtıcıdan su üzerine yapılan işi (elektrikli ısıtıcıdan su üzerine geçen enerjiyi) (kJ olarak) bulunuz?

$$\text{Volt. A. s} = \text{J} ; 1000 \text{ J} = 1 \text{ kJ} ; 60 \text{ s} = 1 \text{ dk} ; 1 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 1000 \cdot \text{V} \cdot \text{A}$$

$$W_e = V \cdot I \cdot t$$

$$W_e = 220 \text{ volt} \cdot 8 \text{ A} \cdot 45 \text{ dk} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ dk}} \cdot \frac{\text{J}}{\text{Volt. A. s}} \cdot \frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}} = 4752 \text{ kJ}$$

İŞİN MEKANİK BİÇİMLERİ

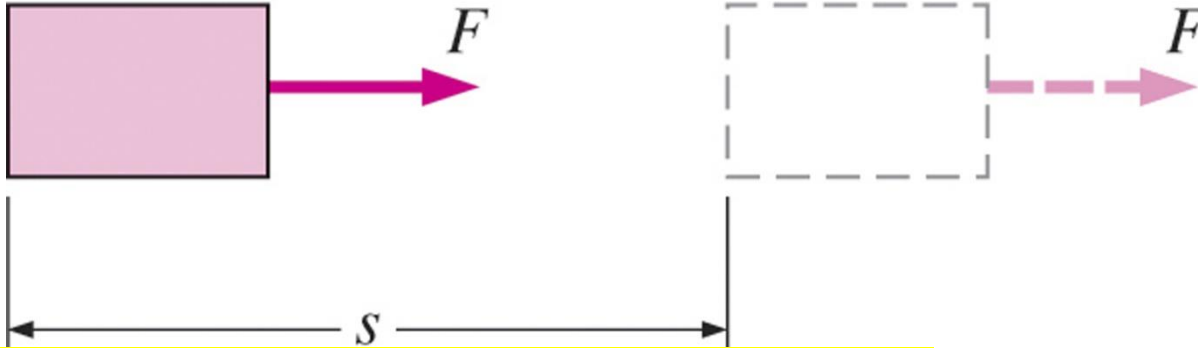
- Sistemle çevresi arasında bir iş etkileşiminin olabilmesi için iki koşulun sağlanması gerekir:
 - Sınırdaki etkiyen bir **kuvvet** olmalıdır
 - **Sınır** hareket etmelidir.

İş = Kuvvet × Yol

$$W = Fs \quad (\text{kJ})$$

Eğer kuvvet sabit değilse

$$W = \int_1^2 F ds \quad (\text{kJ})$$



Yapılan iş, uygulanan kuvvete (F) ve kuvvetin etkilediği uzunluğa (s) bağlıdır.

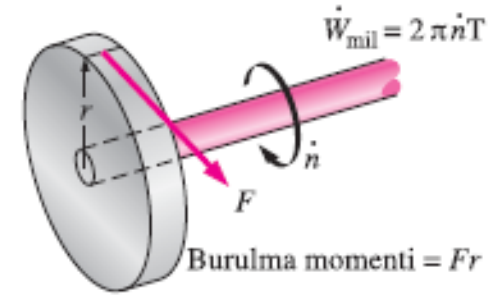


Hareket olmazsa iş yapılmaz.

Mil İşi (W_{sh} , W_{mil}) , Yay işi (W_{yay})

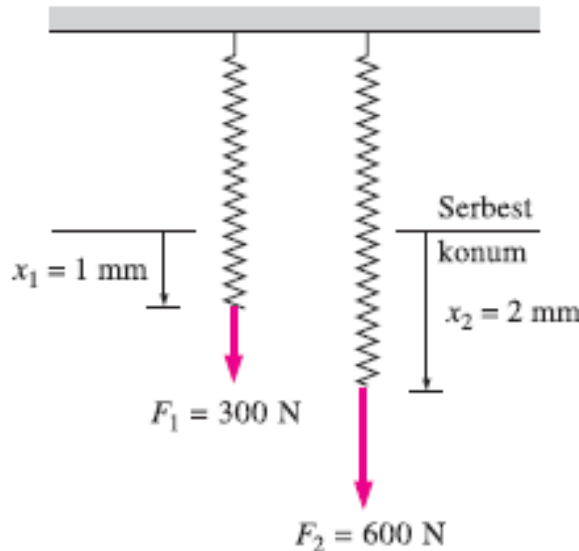
Mille iletilen güç, birim zamanda yapılan mil işidir

Döner melle enerji aktarımına uygulamalarda sıkça rastlanır.



Mil işi, uygulanan burulma momenti ve milin devir sayısı ile orantılıdır.

Yay İşi



$$W_{yay} = \frac{1}{2}k(x_2^2 - x_1^2) \quad (\text{kJ})$$

$$F = kx \quad (\text{kN})$$

k : yay katayısı (kN/m)

ÖRNEK

Yay sabiti $70 \frac{kN}{m}$ olan bir doğrusal yayı serbest konumdan 20 cm aşağıya çekmek için yapılması gereken işi bulunuz?

$$1m = 100 \text{ cm} \quad ; \quad N.m = J \quad ; \quad kN.m = kJ$$

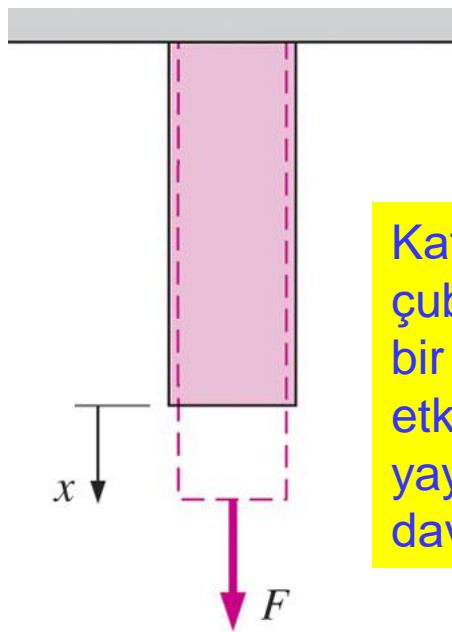
$$W_{yay} = \frac{k}{2} (x_2^2 - x_1^2) \quad x_2 = \text{Son konum} , \quad x_1 = \text{İlk konum}$$

$$W_{yay} = \frac{70 \text{ kN}}{2 \text{ m}} (20^2 \text{ cm}^2 - 0^2 \text{ cm}^2) \cdot \frac{1^2 \text{ m}^2}{100^2 \text{ cm}^2} \cdot \frac{kJ}{kN.n} = 1.4 \text{ kJ}$$

Esnek Katı Çubuklar Üzerinde Yapılan İş

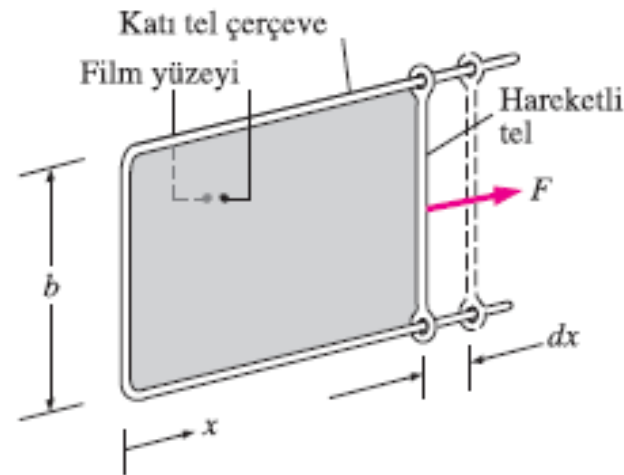
$$W_{\text{esnek}} = \int_1^2 F dx = \int_1^2 \sigma_n A dx \quad (\text{kJ})$$

Sıvı Tabakalarının Gerilmesi ile İlgili İş



Katı çubuklarda bir kuvvetin etkisi altında yay gibi davranırlar.

$$W_{\text{yüzey}} = \int_1^2 \sigma_s dA \quad (\text{kJ})$$



Sıvı filminin hareketli bir telle gerilmesi.

Bir Cismi Yükseltmek ve Hızlandırmak için Yapılan İş

1. Bir cisim yerçekimi alanında yükseltildiği zaman, potansiyel enerjisi artmaktadır.
2. Bir cisim hızlandırıldığı zaman kinetik enerjisi artmaktadır.

Mekanik Olmayan İş

Elektrik İş: Genelleştirilmiş kuvvet(F) *voltaj* (elektrik potansiyeli), genelleştirilmiş yer değişiminin(dx) *elektrik yükü* olarak alınır.

Manyetik İş: Genelleştirilmiş kuvvet olarak *manyetik alan gücünün*, genelleştirilmiş yerdeğişimi olarak *manyetik iki kutuplu momentin* alındığı.

Elektrik Polarizasyon İş: Genelleştirilmiş kuvvet olarak *elektrik alan gücünün*, genelleştirilmiş yerdeğişimi olarak ortam *polarizasyonunun* (moleküllerin iki kutuplu elektrik dönme momentlerinin toplamı) alındığı.



ÖRNEK(1. hafta çözülen örnek)

80 KG ağırlığında bir kişi 30 kg ağırlığındaki bavulu ile birlikte asansöre binerek 35 m yükseklikte bulunan 10.katta asansörden inmektedir. Asansör motoru tarafından harcanan gücü bulunuz?

$$\text{Güç} = m \cdot g \cdot h =$$

$$(80+30)\text{kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 35\text{m} \cdot \frac{\text{Ns}^2}{\text{kg} \cdot \text{m}} \cdot \frac{\text{J}}{\text{N} \cdot \text{m}} \cdot \frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}} = 37.7 \text{ kJ}$$

ÖRNEK(1.hafta çözülen örnek)

1500 kg kütlesindeki bir otomobilin gücü 75 kW olarak verilmiştir. Düz yolda bulunan bu arabayı tam güçte $85 \frac{km}{h}$ hıza ulaştırmak için gerekli olan süreyi bulunuz?

$$1km=1000 m \ ; \quad 1 h = 3600 s \quad ; \quad kW = \frac{kJ}{s}$$

$$85 \frac{km}{h} \cdot \frac{1000 m}{1 km} \cdot \frac{1 h}{3600 s} = 23.6 \frac{m}{s}$$

$$W_{araba} = \frac{1}{2} m(V_2^2 - V_1^2) = \frac{1}{2} \cdot 1500 \text{ kg} \cdot (23.6^2 - 0^2) \frac{m^2}{s^2} = 415.11 \text{ kJ}$$

$$T = \frac{W_{araba}}{W} = \frac{415.11 \text{ kJ}}{75 \frac{kJ}{s}} = 5.535 \text{ s}$$

T1Y matematiksel yazılımı için örnek-1

Sabit hacimli kapalı bir kaptaki bulunan sıcak bir sıvı soğutulurken bir taraftan pervane ile karıştırılmaktadır. **Başlangıçta sıvının iç enerjisi 800 kJ dır.** **Soğutma işlemi sırasında çevreye 500 kJ ısı geçişi olmaktadır.** **Sıvıyı karıştıran pervane 100 kJ iş yapmaktadır.** Termodinamiğin 1. Yasasını yazarak sıvının son haldeki iç enerjisinin bulunuz.

$$E_g - E_ç = \Delta U + \Delta \text{Kin.} + \Delta \text{Pot.}$$

$$\text{ISI} - \text{ISI}$$

$$\text{iş} - \text{iş}$$

kütle giriş

kütle çıkışı

$\Delta \text{Kin.} = \text{ihmal edilebilir}$

$\Delta \text{Pot.} = \text{ihmal edilebilir}$

$$E_g = W_{\text{pervane}},$$

$$E_ç = Q_{\text{soğutma}}$$

$$W_{\text{pervane}} - Q_{\text{soğutma}} = U_2 - U_1$$

(T1Y)

$$W_{\text{pervane}} - Q_{\text{soğutma}} = U_2 - 800$$

$$100 - 500 = U_2 - 800 \quad \text{ise ;}$$

$$U_2 = 400 \text{ kJ bulunur.}$$

T1Y matematiksel yazılımı için örnek-2

İyi yalıtılmış bir tankta 100 kPA basınçta 5 kg doygun sıvı-buhar su karışımı bulunmaktadır. Başlangıçta toplam kütlenin %75'i sıvı fazdadır. Tank içine yerleştirilen **110 V'luk bir hatta bağlanmış elektrik direnci açıldığında üzerinden 8 A akım** geçmektedir. Termodinamiğin 1. Yasasını yazarak tanktaki tüm sıvının buhar fazına geçmesi için gerekli olan süreyi hesaplayınız?

$$\begin{array}{ccc} E_g & - & E_ç \\ \text{ISI} & & \text{ISI} \\ \text{iş} & & \text{iş} \\ \text{kütle giriş} & & \text{kütle çıkışı} \end{array} = \Delta U + \Delta \text{Kin.} + \Delta \text{Pot.}$$

$$E_g = \text{Welektrik} \quad ; \quad E_ç = 0$$

$$\begin{array}{ll} \text{Welektrik} = U_2 - U_1 & \text{(T1Y)} \\ V.I.t = U_2 - U_1 & (\text{volt.amper.sn}) = \text{Joule} = J \end{array}$$

T1Y matematiksel yazılımı için örnek-3

Bir piston silindir düzeneğinde bulunan gaz, silindir içine yerleştirilen bir elektrikli ısıtıcı ile ısıtılmaktadır. Çevreden gaz üzerine Q ısı geçişi sağlanıyor. Bunların neticesinde gaz genişlemektedir. Bu proses için Termodinamiğin 1. Yasasını yazınız?

$$\begin{array}{ccc} E_g & - & E_{\text{ç}} \\ \text{ISI} & & \text{ISI} \\ \text{iş} & & \text{iş} \\ \text{kütle giriş} & & \text{kütle çıkışı} \end{array} = \Delta U + \Delta \text{Kin.} + \Delta \text{Pot.}$$

$$E_g = \text{Welektrik ve } Q \quad ; \quad E_{\text{ç}} = W_{\text{genleşme}} = W_{\text{gen.}}$$

$$\text{Welektrik} + Q - W_{\text{gen.}} = U_2 - U_1 \quad (\text{T1Y})$$

T1Y matematiksel yazılımı için örnek-4

Yalıtılmış bir piston silindir düzeneğinde başlangıçta 175 kPa sabit basınçta 5 L doygun sıvı su bulunmaktadır. Silindir içinde bir elektrikli ısıtıcı ile bir karıştırıcı bulunmaktadır. Daha sonra su 45 dk süre ile bir taraftan karıştırılmakta, diğer taraftan içinden 8 A akım geçen ısıtıcı ile ısıtılmaktadır. Sabit hacimde gerçekleşen bu hal değişimi sırasında sıvının yarısı buharlaşmakta ve karıştırıcı tarafından 400 kJ iş yapılmaktadır. Termodinamiğin 1. Yasasını yazarak elektrik kaynağının potansiyelini bulunuz.

$$\begin{array}{l} E_g \\ \text{ısı} \\ \text{iş} \\ \text{kütle girişi} \end{array} - \begin{array}{l} E_ç \\ \text{ısı} \\ \text{iş} \\ \text{kütle çıkışı} \end{array} = \Delta U + \Delta \text{Kin.} + \Delta \text{Pot.}$$

$$E_g = W_{\text{elektrik}} + W_{\text{mil}} \quad ; \quad E_ç = 0$$

$$W_{\text{elektrik}} + W_{\text{mil}} - 0 = U_2 - U_1 \quad (\text{T1Y})$$

T1Y matematiksel yazılımı için örnek-5

Yalıtılmış bir piston silindir düzeneğinde başlangıçta 175 kPa sabit basınçta 5 L doymuş sıvı su bulunmaktadır. Silindir içinde bir elektrikli ısıtıcı ile bir karıştırıcı bulunmaktadır. Daha sonra su 45 dk süre ile bir taraftan karıştırılmakta, diğer taraftan içinden 8 A akım geçen ısıtıcı ile ısıtılmaktadır. Sabit basınçta gerçekleşen bu hal değişimi sırasında sıvının yarısı buharlaşmakta ve karıştırıcı tarafından 400 kJ iş yapılmaktadır. Termodinamiğin 1. Yasasını yazarak elektrik kaynağının potansiyelini bulunuz.

$$\begin{array}{l} E_g \quad - \quad E_{\check{c}} \quad = \quad \Delta U + \Delta K_{in.} + \Delta P_{ot.} \\ \text{ISI} \quad \quad \quad \text{ISI} \\ \text{iş} \quad \quad \quad \text{iş} \\ \text{kütle giriş} \quad \quad \quad \text{kütle çıkışı} \end{array}$$

$$E_g = W_{elektrik} + W_{mil} \quad ; \quad E_{\check{c}} = W_{genl.}$$

$$W_{elektrik} + W_{mil} - W_{genl.} = U_2 - U_1$$

$$W_{elektrik} + W_{mil} - p\Delta V = U_2 - U_1$$

$$W_{elektrik} + W_{mil} - p(V_2 - V_1) = U_2 - U_1$$

$$W_{elektrik} + W_{mil} = (U_2 + pV_2) - (U_1 + pV_1) = H_2 - H_1$$

$$W_{elektrik} + W_{mil} = H_2 - H_1 \quad (T1Y)$$

T1Y matematiksel yazılımı için örnek-6

30 L ısıtma yağı içeren elektrikli bir ısıtıcı 50 m³ hacminde bir odaya yerleştirilmiştir. Hem oda hem de ısıtıcı içindeki yağın başlangıç sıcaklıkları 10 °C'dir. Gücü 1.8 kW olan ısıtıcı açılmakta ve aynı zamanda odadan ısı kaybı 0.35 kJ/s olmaktadır. Belli bir süre sonunda oda sıcaklığı 20 °C ve ısıtıcı içindeki yağın sıcaklığı 50 °C olarak ölçülmüştür. Isıtma yağının yoğunluğu 950 kg/m³ ve özgül ısısı 2.2 kJ/kg°C dir. Odanın içine hava sızmadığını kabul ederek Termodinamiğin 1. Yasasını yazıp ısıtıcının ne kadar süre açık kaldığını hesaplayınız?

$$E_g - E_ç = \Delta U + \Delta \text{Kin.} + \Delta \text{Pot.}$$

$$\text{ISI} \quad \text{ISI}$$

$$\text{iş} \quad \text{iş}$$

$$\text{kütle giriş} \quad \text{kütle çıkışı}$$

$$E_g = \text{Welektrik} \quad E_ç = Q_{\text{kayıp}}$$

$$\text{Welektrik} - Q_{\text{kayıp}} = \Delta U_{\text{oda}} + \Delta U_{\text{yağ}} \quad (\text{T1Y})$$

2. HAFTA (ÖZET)

$$\text{Etkinlik} = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcaması gereken değer}}$$

$$\eta_{\text{pompa}} = \frac{\text{Akışkanın mekanik enerjisindeki artış}}{\text{Verilen mekanik enerji}} = \frac{\Delta \dot{E}_{\text{mek, akışkan}}}{\dot{W}_{\text{mil, g}}} = \frac{\dot{W}_{\text{pompa, f}}}{\dot{W}_{\text{pompa}}}$$

Motor:

$$\eta_{\text{motor}} = \frac{\text{Alınan mekanik güç}}{\text{Verilen elektriksel güç}} = \frac{\dot{W}_{\text{mil, ç}}}{\dot{W}_{\text{elek, g}}}$$

Jeneratör:

$$\eta_{\text{jeneratör}} = \frac{\text{Alınan elektriksel güç}}{\text{Verilen mekanik güç}} = \frac{\dot{W}_{\text{elek, ç}}}{\dot{W}_{\text{mil, g}}}$$

2. HAFTA (ÖZET)

$$T1Y: \left(\begin{array}{c} \text{Sisteme giren} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Sistemden çıkan} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Sistemin toplam} \\ \text{enerjisindeki değişim} \end{array} \right)$$

$$\begin{array}{l} E_g \\ \text{ISI} \\ \text{iş} \\ \text{kütle giriş} \end{array} - \begin{array}{l} E_ç \\ \text{ISI} \\ \text{iş} \\ \text{kütle çıkışı} \end{array} = \Delta U + \Delta \text{Kin.} + \Delta \text{Pot.}$$

İş türleri:

$$\text{Welektrik} = W_e = V \cdot I \cdot t = \text{volt. amper. s} = J$$

$$\text{Wgenleşme} = W_{genl.} = P \cdot \Delta V = P \cdot (V_2 - V_1)$$

$$\text{Wyay} ; \quad \text{Wpervane} = W_{mil} = W_{shaft} = W_{sh}$$

T1Y matematiksel yazılımı için örnek-4

Yalıtılmış bir piston silindir düzeneğinde başlangıçta 175 kPa sabit basınçta 5 L doygun sıvı su bulunmaktadır. Silindir içinde bir **elektrikli ısıtıcı** ile bir **kariştırıcı** bulunmaktadır. Daha sonra su 45 dk süre ile bir taraftan kariştırılmakta, diğer taraftan içinden 8 A akım geçen ısıtıcı ile ısıtılmaktadır. **Sabit hacimde** gerçekteşen bu hal değişimi sırasında sıvının yarısı buharlaşmakta ve kariştırıcı tarafından 400 kJ iş yapılmaktadır. Termodinamiğin 1. Yasasını yazarak elektrik kaynağının potansiyelini bulunuz.

$$E_g \quad - \quad E_ç \quad = \quad \Delta U + \Delta \text{Kin.} + \Delta \text{Pot.}$$

$$\text{ISI} \quad \quad \quad \text{ISI}$$

$$\text{iş} \quad \quad \quad \text{iş}$$

$$\text{kütle giriş} \quad \quad \quad \text{kütle çıkışı}$$

$$E_g = W_{\text{elektrik}} \text{ ve } W_{\text{mil}} \quad ; \quad E_ç = 0$$

$$W_{\text{elektrik}} + W_{\text{mil}} - 0 = U_2 - U_1 \quad (\text{T1Y})$$

$$V \cdot I \cdot t \quad + 400 \quad = U_2 - U_1$$

$U_1 = 175 \text{ kPa}$ doygun sıvı suyun iç enerjisi = ?

$U_2 =$ Yarısı buharlaşmış haldeki sıvı-buhar karişımının iç enerjisi = ?

T1Y matematiksel yazılımı için örnek-5

Yalıtılmış bir piston silindir düzeneğinde başlangıçta 175 kPa sabit basınçta 5 L doygun sıvı su bulunmaktadır. Silindir içinde bir elektrikli ısıtıcı ile bir karıştırıcı bulunmaktadır. Daha sonra su 45 dk süre ile bir taraftan karıştırılmakta, diğer taraftan içinden 8 A akım geçen ısıtıcı ile ısıtılmaktadır. **Sabit basınçta** gerçekleşen bu hal değişimi sırasında sıvının yarısı buharlaşmakta ve karıştırıcı tarafından 400 kJ iş yapılmaktadır. Termodinamiğin 1. Yasasını yazarak elektrik kaynağının potansiyelini bulunuz.

$$\begin{array}{l} E_g \quad - \quad E_ç \quad = \quad \Delta U + \Delta \text{Kin.} + \Delta \text{Pot.} \\ \text{ısı} \quad \quad \quad \text{ısı} \\ \text{iş} \quad \quad \quad \text{iş} \\ \text{kütle giriş} \quad \quad \quad \text{kütle çıkışı} \end{array}$$

$$E_g = W_{\text{elektrik}} + W_{\text{mil}} \quad ; \quad E_ç = W_{\text{genl.}}$$

$$W_{\text{elektrik}} + W_{\text{mil}} - W_{\text{genl.}} = U_2 - U_1$$

$$W_{\text{elektrik}} + W_{\text{mil}} - p\Delta V = U_2 - U_1$$

$$W_{\text{elektrik}} + W_{\text{mil}} - p(V_2 - V_1) = U_2 - U_1$$

$$W_{\text{elektrik}} + W_{\text{mil}} = (U_2 + pV_2) - (U_1 + pV_1)$$

$$W_{\text{elektrik}} + W_{\text{mil}} = H_2 - H_1 \quad (\text{T1Y})$$

T1Y matematiksel yazılımı için örnek-6

30 L ısıtma yağı içeren elektrikli bir ısıtıcı 50 m³ hacminde bir odaya yerleştirilmiştir. Hem oda hem de ısıtıcı içindeki yağın başlangıç sıcaklıkları 10 °C'dir. Gücü 1.8 kW olan ısıtıcı açılmakta ve aynı zamanda odadan ısı kaybı 0.35 kJ/s olmaktadır. Belli bir süre sonunda oda sıcaklığı 20 °C ve ısıtıcı içindeki yağın sıcaklığı 50 °C olarak ölçülmüştür. Isıtma yağının yoğunluğu 950 kg/m³ ve özgül ısı 2.2 kJ/kg°C dir. Odanın içine hava sızmadığını kabul ederek Termodinamiğin 1. Yasasını yazıp ısıtıcının ne kadar süre açık kaldığını hesaplayınız?

$$E_g - E_{\ç} = \Delta U + \Delta \text{Kin.} + \Delta \text{Pot.}$$

ISI ISI

iş iş

kütle giriş kütle çıkışı

$$E_g = W_{\text{elektrik}} \quad ; \quad E_{\ç} = Q_{\text{kayıp}}$$

$$W_{\text{elektrik}} - Q_{\text{kayıp}} = \Delta U_{\text{oda}} + \Delta U_{\text{yağ}} \quad (\text{T1Y})$$

$$W_{\text{pervane}} - Q_{\text{soğutma}} = U_2 - U_1$$

$$W_{\text{elektrik}} + W_{\text{mil}} - 0 = U_2 - U_1$$

$$W_{\text{elektrik}} + W_{\text{mil}} = H_2 - H_1$$

$$W_{\text{elektrik}} = U_2 - U_1$$

$$W_{\text{elektrik}} + Q - W_{\text{gen.}} = U_2 - U_1$$

$$W_{\text{elektrik}} - Q_{\text{kayıp}} = \Delta U_{\text{oda}} + \Delta U_{\text{yağ}}$$

1 : İlk hal durumu (Akışkanın başlangıçtaki faz durumu)

2 : Son hal durumu (Akışkanın son haldeki faz durumu)

$U_2=?$

$U_1=?$

$H_2=?$

$H_1=?$

Isıtma ve/veya soğutma prosesleri için

*Soğuk sıvı **ısıtılarak** ;

a)doygun sıvı, b)doygun sıvı-buhar karışımı , c)doygun buhar , d)kızgın buhar haline getirilebilir.

1= Soğuk sıvı ; 2=Hangi noktaya kadar ısıtıldı ise o faz durumu

U1=Soğuk sıvının iç enerjisi ; U2=Son faz durumunun iç enerjisi

H1= Soğuk sıvının entalpisi ; H2=Son faz durumunun entalpisi

T1= Soğuk sıvının sıcaklığı ; T2=Son faz durumunun sıcaklığı

***Kızgın buhar** soğutularak ;

a)Doygun buhar, b)doygun sıvı-buhar karışımı , c)doygun sıvı , d)soğuk sıvı haline getirilebilir.

1= Kızgın buhar ; 2=Hangi noktaya kadar soğutuldu ise o faz durumu

U1=Kızgın buharın iç enerjisi ; U2=Son faz durumunun iç enerjisi

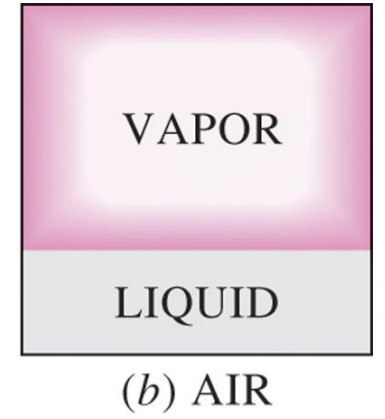
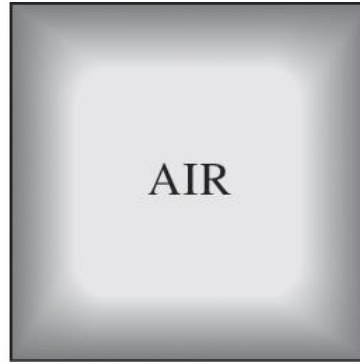
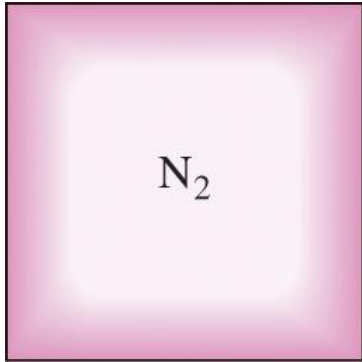
H1=Kızgın buharın entalpisi ; H2=Son faz durumunun entalpisi

T1= Kızgın buharın sıcaklığı ; T2=Son faz durumunun sıcaklığı

SAF MADDENİN ÖZELLİKLERİ

SAF MADDE

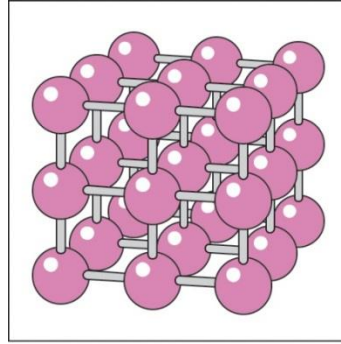
- **Saf madde:** Her noktasında aynı ve değişmeyen bir kimyasal bileşime sahip olan maddeye denir.
- Hava değişik gazlardan oluşun bir karışımıdır, kimyasal bileşiminin her noktada aynı ve değişmez olmasından dolayı saf maddedir.



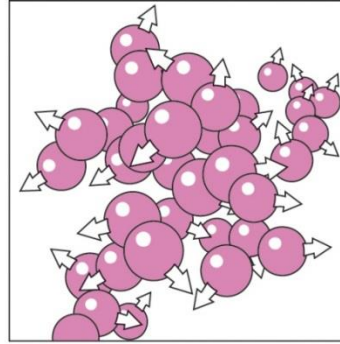
Azot ve gaz halindeki hava saf maddelerdir

Sıvı-buhar karışımı su saf bir maddedir, ama sıvı ve gaz havanın karışımı saf bir madde değildir

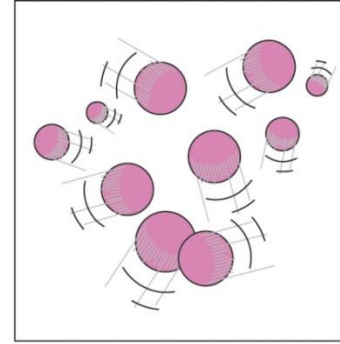
SAF MADDENİN FAZLARI



(a)



(b)



(c)

Atomların farklı fazlardaki düzenleri: (a) bir katıdaki moleküller nispeten sabittir, (b) sıvı fazda molekül grupları birbirleri etrafında hareket ederler ve (c) gaz fazında moleküller rastgele hareket ederler.

SAF MADDELERDE 5 FARKLI FAZ DURUMU GÖRÜLÜR

1-SOĞUK SIVI

2-DOYGUN SIVI

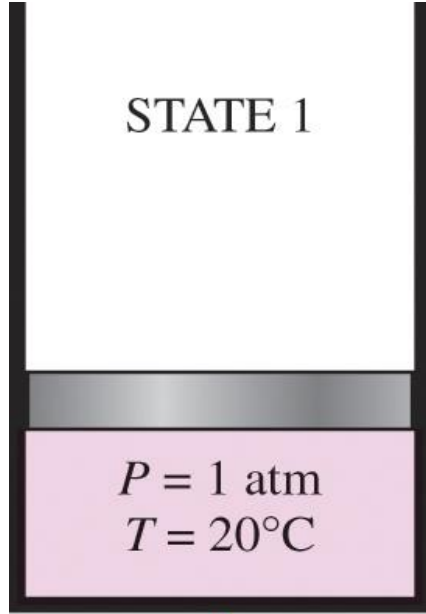
3-SIVI-BUHAR KARIŞIMI

4-DOYGUN BUHAR

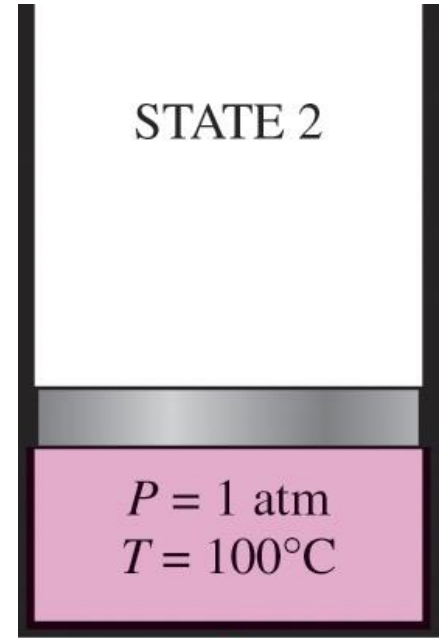
5-KIZGIN BUHAR

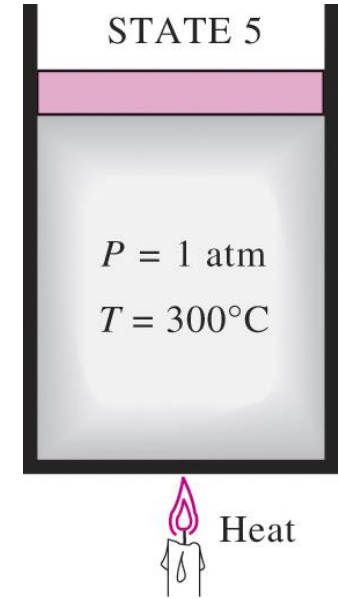
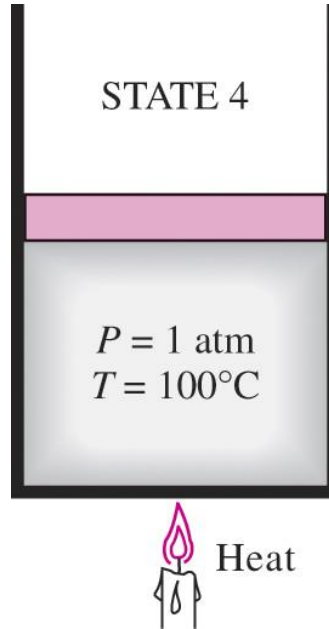
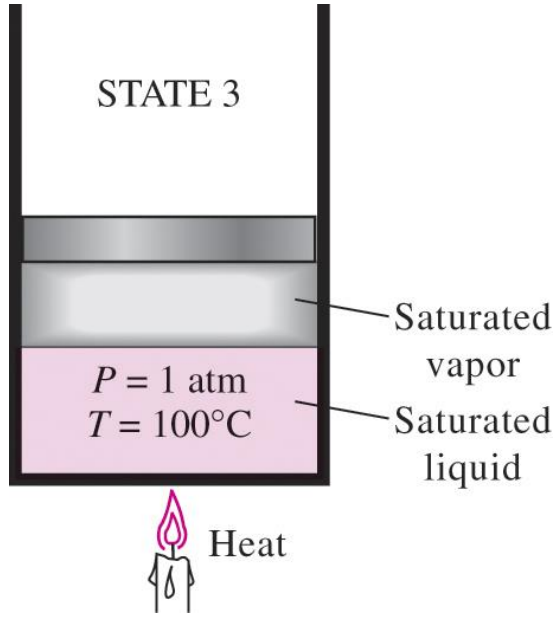
SAF MADDELERİN FAZ DEĞİŞİM İŞLEMLERİ

Sıkıştırılmış sıvı (soğutulmuş sıvı): Henüz buharlaşma aşamasına gelmediği bir durumdur. 1 atm basınçta ve 20 oC sıcaklıkta su sıvı fazındadır (*sıkıştırılmış sıvı*)(State-1)



Doymuş sıvı:
Buharlaşma başlangıcı olan hale denir.
1 atm basınçta ve 100 oC sıcaklıkta su buharlaşma başlangıcındadır (*Doymuş sıvı*)(State-2)





Doymuş sıvı-buhar karışımı:

Bu durumda sıvı ve buhar fazları bir arada ve dengede bulunur.

Daha fazla ısı transfer edildiğinde doymuş sıvının bir bölümü buharlaşır. (*doymuş sıvı-buhar karışımı*)(State-3)

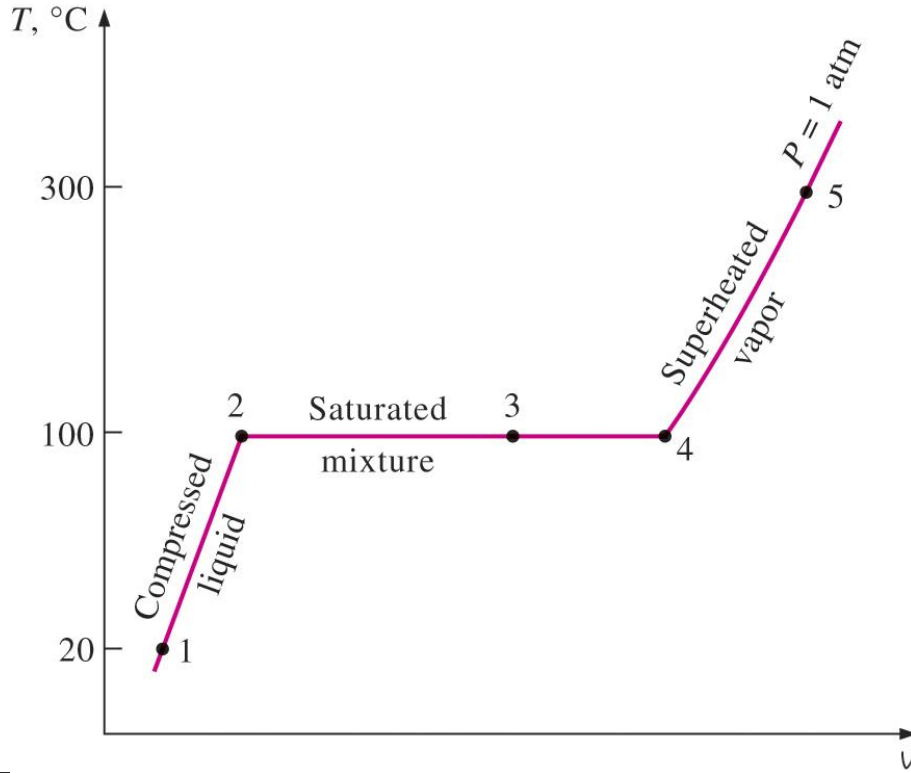
Doymuş buhar: Yoğuşmanın sınırında olan buhara.

1 atm basınçta sıvının son damlası da buharlaşmaya kadar sıcaklık 100°C 'de sabit kalır. (*doymuş buhar*)(State-4)

Kızgın buhar: Yoğuşma sınırında olmayan (yani doymuş buhar gibi değil) buhara denir.

Daha fazla ısı transfer edildiğinde buharın sıcaklığı artmaya başlar. (*kızgın buhar*)(State-5)

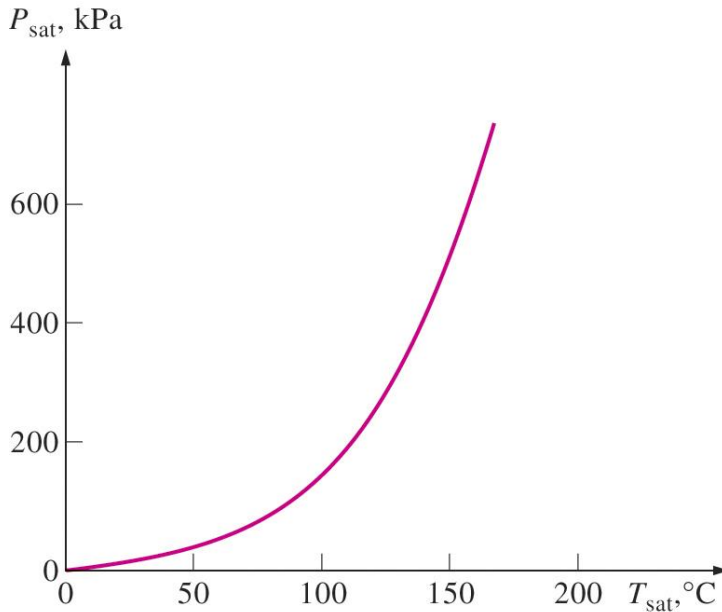
Burada izah edilen hal değişiminin tamamı bu kez su sabit basınçta soğutulularak tersine çevrilirse, su benzer bir yol izleyerek, başka bir deyişle aynı hallerden geçerek, yeniden 1 haline dönecektir. Bu hal değişimi sırasında açığa çıkan ısıнын miktarı, ısıtma işlemi sırasında eklenen ısıнын miktarına tamamen eşit olacaktır.



Sabit basınçta
suyun ısıtılmasının
T-v diyagramında
gösterimi

Doyma Sıcaklığı ve Doyma Basıncı

- Suyun kaynamaya başladığı sıcaklık **basınca** bağlıdır, bu nedenle sabitlenmiş bir basınçta kaynama sıcaklığı da belirli bir değere sahiptir.
- Su 1 atm basınçta 100 °C de kaynar
- **Doyma sıcaklığı** T_{doyma} : Verilen bir basınçta saf maddenin faz değişimlerine başladığı sıcaklıktır.
- **Doyma basıncı** P_{doyma} : Verilen bir sıcaklıkta, saf maddenin faz değişimlerine başladığı basınçtır



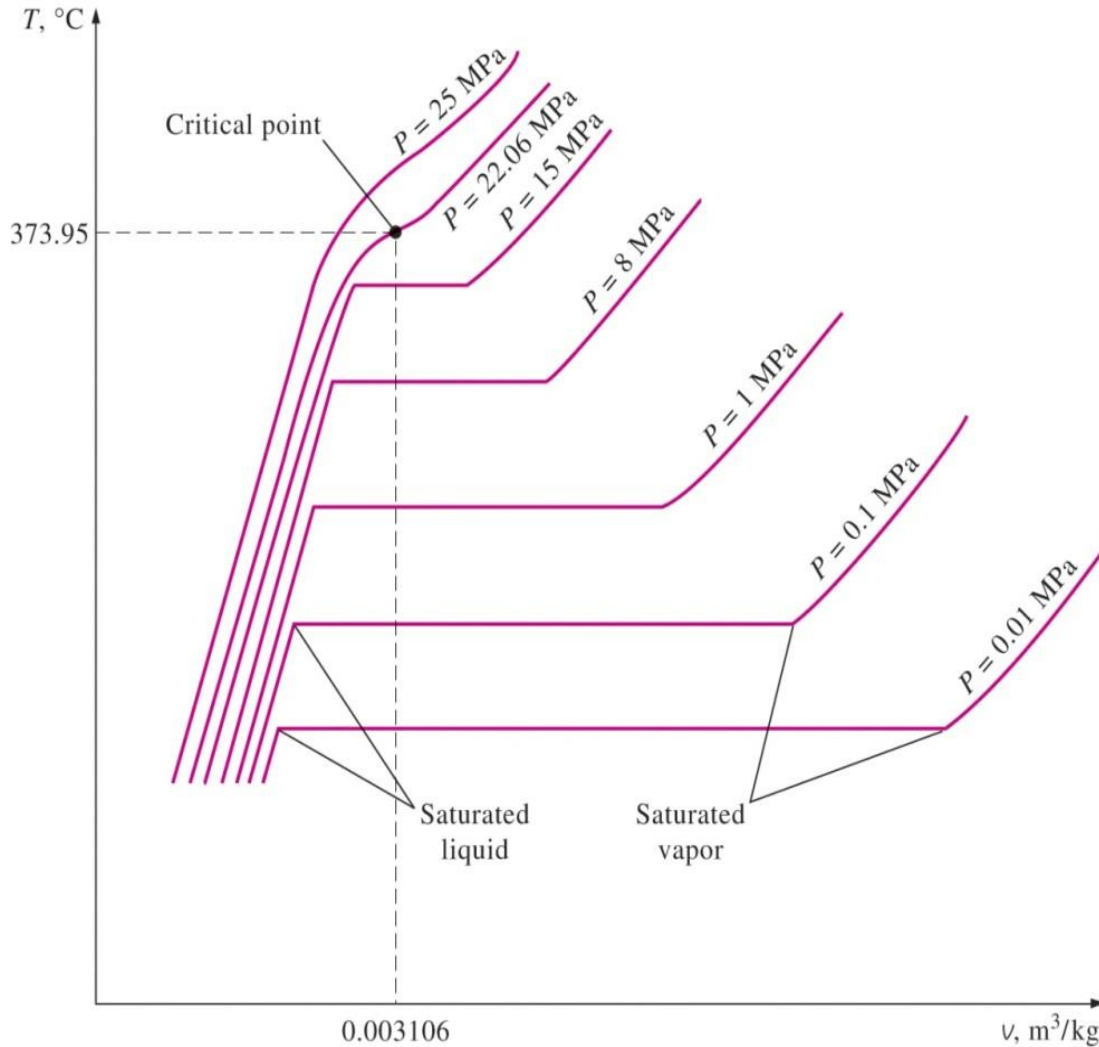
Saf bir maddenin sıvı-buhar doyma eğrisi (sayısal değerler su için verilmiştir).

TABLE 3-1

Saturation (boiling) pressure of water at various temperatures

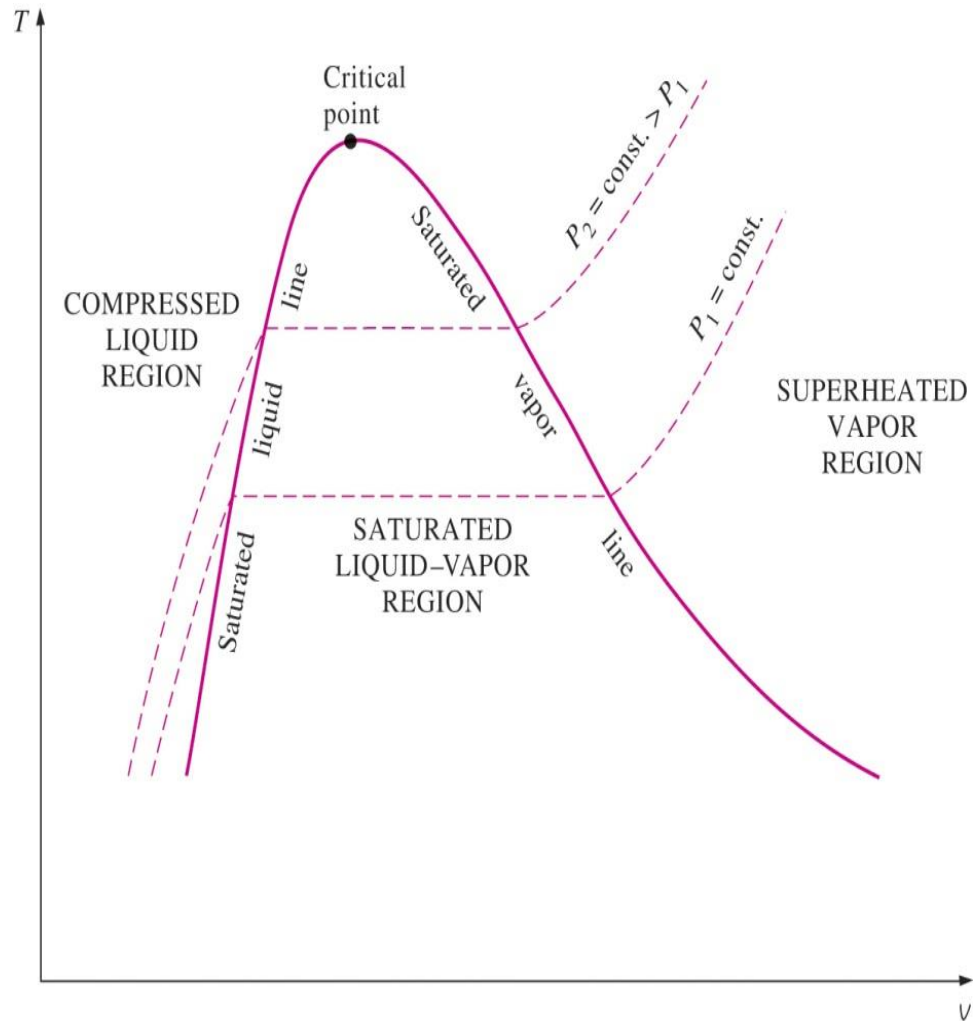
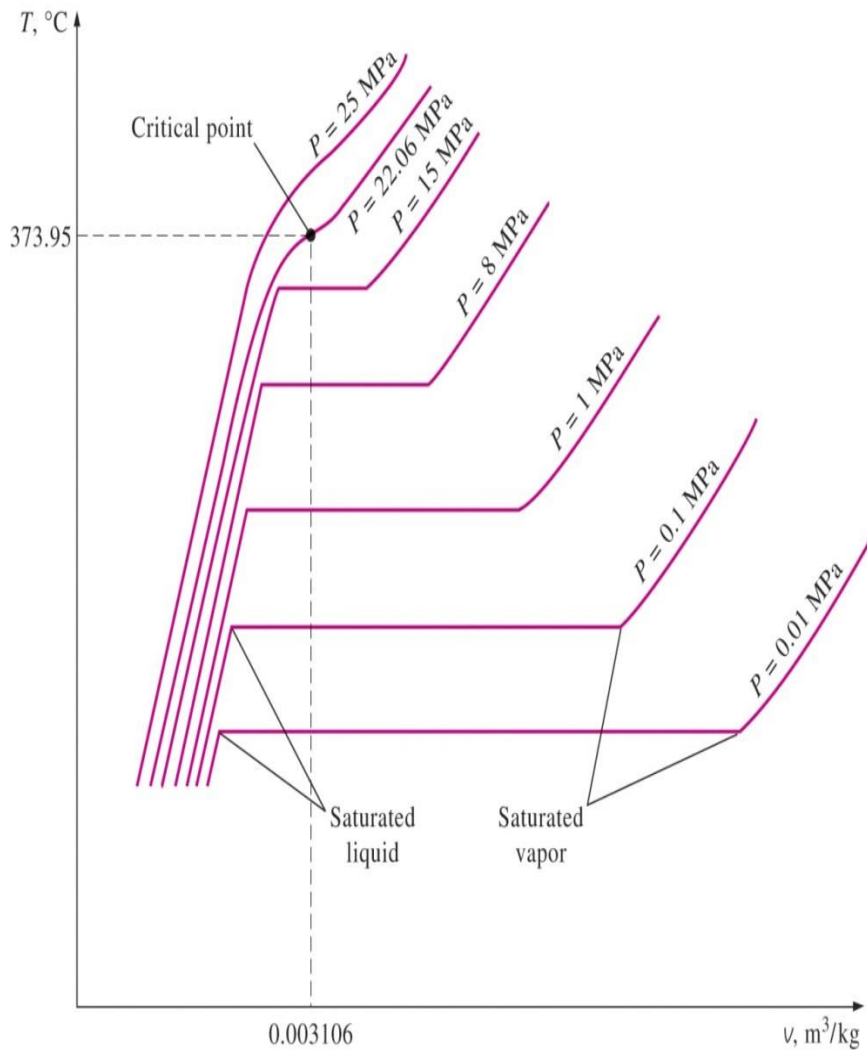
Temperature, T , °C	Saturation pressure, P_{sat} , kPa
-10	0.26
-5	0.40
0	0.61
5	0.87
10	1.23
15	1.71
20	2.34
25	3.17
30	4.25
40	7.39
50	12.35
100	101.4
150	476.2
200	1555
250	3976
300	8588

FAZ DEĞİŞİMİ İŞLEMLERİ İÇİN ÖZELİK DİYAGRAMALARI



Özelik diyagramlarının kullanılması faz değişiminin gerçekleştiği hal değişimleri sırasında, özelliklerin nasıl değiştiğini anlamak ve izlemek bakımından çok yararlıdır. Bir sonraki kısımda saf madde için T-v, P-v, ve P-T diyagramları geliştirilmiş ve açıklanmıştır

Değişik basınçlarda, saf bir maddenin sabit basınçta faz değişim eğrilerinin T-v diyagramında gösterimi (Sayısal değerler su içindir).



***Sıkıştırılmış sıvı bölgesi**

(S.D.=2 , P ve T)

***Doymuş sıvı çizgisi**

(S.D.=1 , Ya P , ya T)

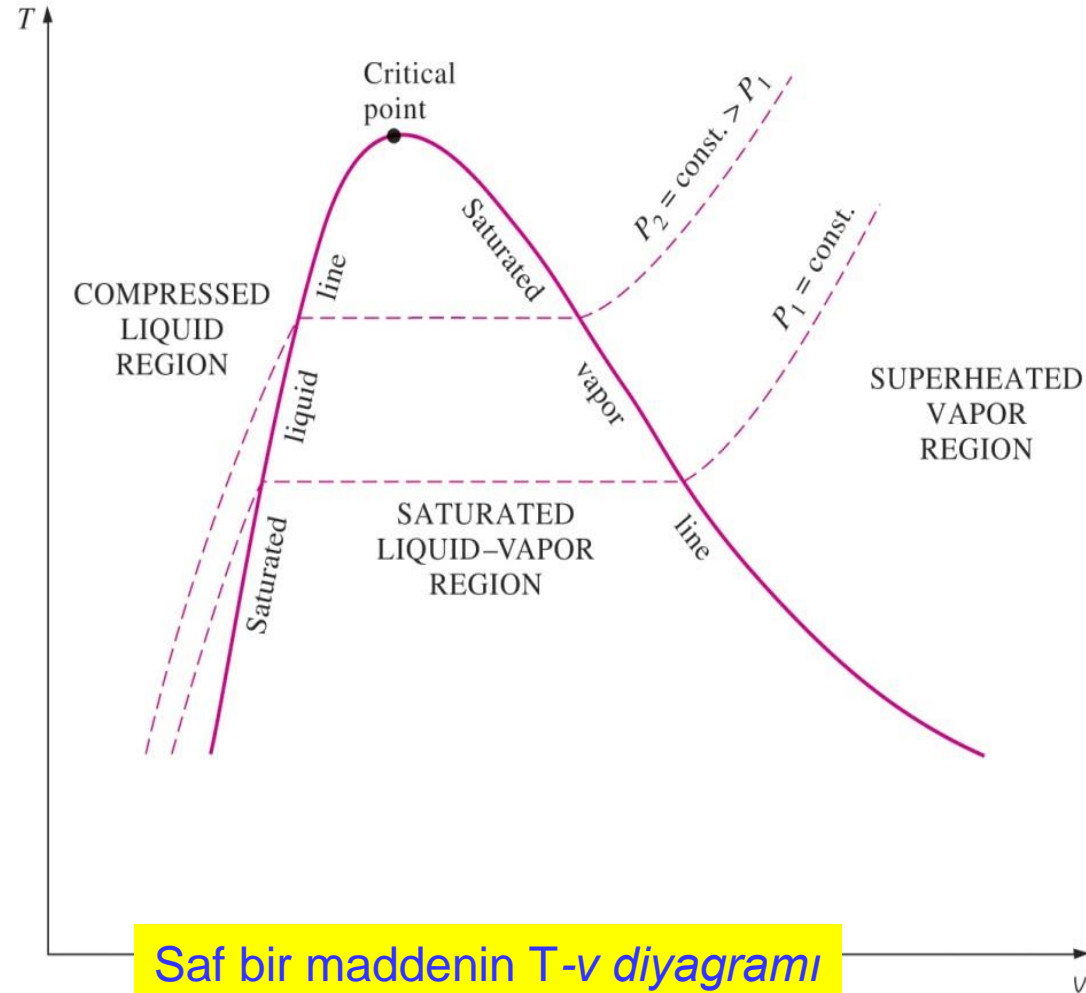
***Doygun sıvı-buhar bölgesi
(Islak buhar) (S.D.=2, P ve T)**

***Doymuş buhar çizgisi**

(S.D. = 1 , ya P , ya T)

***Kızgın buhar bölgesi**

(S.D.=2, P ve T)



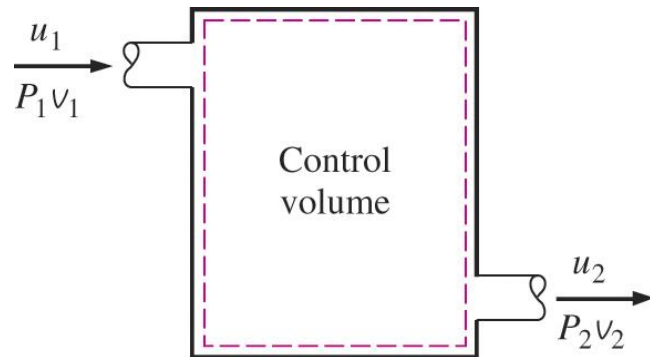
Kritik nokta: Doymuş sıvıyla doymuş buhar hallerinin aynı olduğu hal.

ÖZELLİK TABLOLARI

- Birçok madde için termodinamik özellikler arasındaki ilişkiler basit denklemlerle ifade edilemeyecek kadar karmaşıktır.
- Bu nedenle özellikler genellikle **tablolar aracılığıyla** verilir.
- Bazı termodinamik özellikler kolaylıkla ölçülebilir, fakat bazıları da doğrudan ölçülemez. Bu özellikler, ölçülebilen özelliklerle aralarındaki ilişkiyi veren bağıntılardan hesaplanır.
- Ölçümler ve daha sonra bunlara dayanarak yapılan hesaplar kolaylıkla kullanılabilen tablolarla sunulur.

Entalpi- Bir Karma Özellik

$$H = U + PV \quad (\text{kJ}) \quad h = u + Pv \quad (\text{kJ/kg})$$



$u + Pv$ 'nin kombinasyonuna kontrol hacimlerinin çözümlemesinde sıklıkla karşılaşılr.

$$\begin{aligned} \text{kPa} \cdot \text{m}^3 &\equiv \text{kJ} \\ \text{kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} &\equiv \text{kJ/kg} \\ \text{bar} \cdot \text{m}^3 &\equiv 100 \text{ kJ} \\ \text{MPa} \cdot \text{m}^3 &\equiv 1000 \text{ kJ} \\ \text{psi} \cdot \text{ft}^3 &\equiv 0.18505 \text{ Btu} \end{aligned}$$

Basınç x Hacim çarpımı enerji birimini verir.

Tablo A1 Mol kütlesi, gaz sabiti ve kritik nokta özellikleri (sayfa 884)

1.sütun: gazların isimleri, Amonyak

2.sütun: kimyasal formülü, NH_3

3.sütun: Mol kütlesi, $\left(\frac{kg}{mol}\right)$, 17.03

4.sütun: Bireysel gaz sabiti, $\left(\frac{kJ}{kg.K}\right)$, 0.4882

Kritik nokta özellikleri

5.sütun: Kritik sıcaklık, K, 405.5

6.sütun: Kritik basınç, Mpa, 11.28

7.sütun: Kritik hacim, $\frac{m^3}{kg}$, 0.0724

1.sütun: gazların isimleri, Argon

2.sütun: kimyasal formülü, *Ar*

3.sütun: Bireysel gaz sabiti, $\left(\frac{kJ}{kg.K}\right)$, 0.2081

4.sütun: Cp, $\frac{kJ}{kg.K}$, 0.5203

5.sütun: Cv, $\frac{kJ}{kg.K}$, 0.3122

6.sütun: k, $\frac{Cp}{Cv}$, 1.667

Tablo A2 Bazı gazların değişik sıcaklıklardaki C_p , C_v ,
ve k (C_p / C_v) değerleri (sayfa 886)

GAZIN İSMİ: HAVA

1.sütun: Sıcaklık, K, 300

2.sütun: C_p , $\frac{kJ}{kg.K}$, 1.005

3.sütun: C_v , $\frac{kJ}{kg.K}$, 0.718

4.sütun: k , $\frac{C_p}{C_v}$, 1.400

DİĞER GAZLAR : CO₂, CO, H₂, N₂, O₂

Tablo A2 Bazı gazların sıcaklığın fonksiyonu olarak değişik sıcaklık aralığındaki a, b, c, d sabitleri, hata oranları (sayfa 887)

- 1.sütun: gazların isimleri, Azot
- 2.sütun: kimyasal formülü, N_2
- 3.sütun: $a=28.90$
- 4.sütun: $b=-0.1571 \times 10^{-2}$
- 5.sütun: $c=0.8081 \times 10^{-5}$
- 6.sütun: $d=-2.873 \times 10^{-9}$
7. Sütun : Sıcaklık aralığı , K, 273 – 1800
- 8.sütun: Maksimum % hata, 0.59
9. sütun: Ortalama % hata, 0.34

Tablo A3 Bazı sıvı, katı ve yiyeceklerin özellikleri (sayfa 888)
a)Sıvılar

1.sütun: isimleri, metanol

1 atm basınçta kaynama verileri

2.sütun:normal kaynama noktası, oC, 64.5

3.sütun: Buharlaşıma gizli ısı, $\frac{kJ}{kg}$, 1100

Donma verileri

4.sütun: Donma noktası, oC, -97.7

5.sütun: Füzyon gizli ısı, $\frac{kJ}{kg}$, 99.2

Sıvı Özellikleri

6.sütun: Sıcaklık, oC, 25

7. Sütun : Yoğunluk, $\frac{kg}{m^3}$, 787

8.sütun: Maksimum % hata, 0.59

9. sütun: Özgül ısı, Cp, $\frac{kJ}{kg.K}$, 2.55

Tablo A3 Bazı sıvı, katı ve yiyeceklerin özellikleri (sayfa 889)
b)Katılar

1.sütun: isimleri ve sıcaklık , Alüminyum, 300 K

2. Sütun : Yoğunluk, $\frac{kg}{m^3}$, 2700

3.sütun: Özgül ısı, C_p , $\frac{kJ}{kg.K}$, 0.902

Tablo A3 Bazı sıvı, katı ve yiyeceklerin özellikleri (sayfa 889)
c)Yiyecekler

1.sütun: isimleri , elma

2. Sütun : Su içeriği (%kütle) , 84

3.sütun: Donma noktası, oC, -1.1

4. sütun: donma noktası üstü özgül ısı , $\frac{kJ}{kg.K}$, 3 .65

5.sütun: Donma noktası altı özgül ısı , $\frac{kJ}{kg.K}$, 1.90

6.sütun: Füzyon gizli ısı, $\frac{kJ}{kg.K}$, 281

NOTASYONLAR

T=Sıcaklık, oC ; P=Basınç, kPA

f = Sıvı

g = Buhar

v =Özgül hacim, $\frac{m^3}{kg}$; u = İç enerji

h = Entalpi ; s = entropi

fg = Buhar ile sıvı arasındaki fark

vfg = Buhar ile sıvı arasındaki **özgül hacim** farkı , $vg - vf$

ufg = Buhar ile sıvı arasındaki **iç enerji** farkı, $ug - uf$

hfg = Buhar ile sıvı arasındaki **entalpi** farkı , $hg - hf$

sfg = Buhar ile sıvı arasındaki **entropi** farkı , $sg - sf$

Doymuş Sıvı ve Doymuş Buhar Halleri

- **Tablo A–4:** Suyun doymuş sıvı ve doymuş buhar özellikleri doyma sıcaklığına göre.
- **Tablo A–5:** Suyun doymuş sıvı ve doymuş buhar özellikleri doyma basıncına göre.

v_f = specific volume of saturated liquid

v_g = specific volume of saturated vapor

v_{fg} = difference between v_g and v_f (that is, $v_{fg} = v_g - v_f$)

Tablo A-4'ün bir bölümü

Temp. °C T	Sat. press. kPa P_{sat}	Specific volume m ³ /kg	
		Sat. liquid v_f	Sat. vapor v_g
85	57.868	0.001032	2.8261
90	70.183	0.001036	2.3593
95	84.609	0.001040	1.9808

Specific temperature

Corresponding saturation pressure

Specific volume of saturated liquid

Specific volume of saturated vapor

Buharlaştırma entalpisi, h_{fg}

(Buharlaştırma gizli ısı): verilen bir basınç veya sıcaklıkta doymuş sıvının birim kütle için buharlaştırmak için gereken enerjidir.

Tablo A4 Doymuş su- Sıcaklık tablosu (sayfa 890-891)

1.sütun: Sıcaklık, T, oC, 20

2.sütun: Doymuş basıncı, P_{doy}, kPA, 2.3392

3.sütun: Doymuş sıvının özgül hacmi, $v_f, \frac{m^3}{kg}$, 0.001002

4.sütun: Doymuş buharın özgül hacmi, $v_g, \frac{m^3}{kg}$, 57.762

DAİMA $v_g > v_f$

5.sütun: Doymuş sıvının iç enerjisi , $u_f, \frac{kJ}{kg}$, 83.913

6.sütun: Doymuş buharın iç enerjisi ile doymuş sıvının iç enerjisi arasındaki fark , $u_{fg}, \frac{kJ}{kg}$, 2318.4 $u_{fg}=u_g-u_f$

7. Sütun : Doymuş buharın iç enerjisi , $u_g, \frac{kJ}{kg}$, 2402.3

DAİMA $u_g > u_f$

Tablo A4 Doymuş su- Sıcaklık tablosu (sayfa 890-891)

8.sütun: Doymuş sıvının entalpisi, $h_f, \frac{kJ}{kg}$, 83.915

9.sütun: Doymuş buharın entalpisi ile doymuş sıvının entalpisi arasındaki fark ,
 $h_{fg}, \frac{kJ}{kg}$, 2353.5 , $h_{fg}=h_g-h_f$

10. Sütun : Doymuş buharın iç enerjisi , $u_g, \frac{kJ}{kg}$, 2537.4

DAİMA $h_g > h_f$

11.sütun: Doymuş sıvının entropisi , $s_f, \frac{kJ}{kgK}$, 0.2965

12.sütun: Doymuş buharın entropisi ile doymuş sıvının entropisi arasındaki fark
, $s_{fg}, \frac{kJ}{kgK}$, 8.3696 , $s_{fg}=s_g-s_f$

13. Sütun : Doymuş buharın entropisi, $s_g, \frac{kJ}{kgK}$, 8.6661

DAİMA $s_g > s_f$

DAİMA

$$h_f > u_f$$

$$h_g > u_g$$

Tablo A5 Doymuş su- Basınç tablosu (sayfa 892-893)

- 1.sütun: Basınç, kPa , 50
- 2.sütun: Basınç değerine karşılık gelen doymunluk sıcaklığı, T_{doy} , oC , 81.32
- 3.sütun: Doymuş sıvının özgül hacmi, v_f , m³/kg , 0.001030
4. sütun: Doymuş buharın özgül hacmi, v_g , m³/kg , 3.2403
5. sütun: Doymuş sıvının iç enerjisi, u_f , kJ/kg , 340.49
6. sütun: Doymuş buhar ile doymuş sıvının iç enerjileri arasındaki fark, u_{fg} , kJ/kg, 2142.7
7. sütun: Doymuş buharın iç enerjisi, u_g , kJ/kg, 2483.2
8. sütun: Doymuş sıvının entalpisi, h_f , kJ/kg, 340.54
9. sütun: Doymuş buhar ile doymuş sıvının entalpileri arasındaki fark, h_{fg} , kJ/kg, 2304.7
10. sütun: Doymuş buharın entalpisi, h_g , kJ/kg , 2645.2
11. sütun: Doymuş sıvının entropisi, s_f , kJ/kgK , 1.0912
12. sütun: Doymuş buhar ile doymuş sıvının entropileri arasındaki fark, s_{fg} , kJ/kgK, 6.5019
13. sütun: Doymuş buharın entropisi, s_g , kJ/kgK, 7.5931

Tablo A6 Kızgın su buharı (894-897)

DEĞİŞİK BASINÇ DEĞERLERİNE KARŞILIK OLARAK PARANTEZ İÇİNDE DOYGUNLUK SICAKLIKLARI VERİLİR.

Örneğin 0.01 MPa için

- 1.sütun: Sıcaklık , oC , 250
- 2.sütun: Özgül hacmi, m³/kg , 24.136
3. sütun: iç enerjisi, kJ/kg , 2736.1
4. sütun: entalpisi, kJ/kg, 2977.5
5. Sütun: entropisi, kJ/kgK , 9.1015

Kızgın buhar faz durumu, doygunluk sıcaklığının her zaman üzerindeki sıcaklıklarda bulunur. Dolayısıyla her zaman

$T(\text{kızgın buhar}) > T(\text{doyg.sıc.})$

Tablo A7 Sıkıştırılmış sıvı su (898)

DEĞİŞİK BASINÇ DEĞERLERİNE KARŞILIK OLARAK PARANTEZ İÇİNDE DOYGUNLUK SICAKLIKLARI VERİLİR.

Örneğin 5 MPa için

- 1.sütun: Sıcaklık , oC , 140
- 2.sütun: Özgül hacmi, m³/kg , 0.0010769
3. sütun: iç enerjisi, kJ/kg , 586.80
4. sütun: entalpisi, kJ/kg, 592.18
5. Sütun: entropisi, kJ/kgK , 1.7344

Sıkıştırılmış sıvı faz durumu, doygunluk sıcaklığının her zaman altındaki sıcaklıklarda bulunur. Dolayısıyla her zaman

$$T(\text{sıkıştırılmış sıvı}) < T(\text{doyg.sıc.})$$

Soğutucu akışkan (R-134a)

Tablo A11 : Doymuş soğutucu akışkan (R-134a) - Sıcaklık tablosu (sayfa 902-903)

Tablo A12 : Doymuş soğutucu akışkan (R-134a) – Basınç tablosu (sayfa 904)

Tablo A13 : Kızgın soğutucu akışkan (R-134a) tablosu (sayfa 905-906)

ÖRNEK (Doygun sıvı ile ilgili)

Sabit hacimli bir kaptaki 90 oC de 50 kg doygun sıvı su bulunmaktadır. Kap içindeki **basıncı** ve **kabın hacmini** bulunuz?

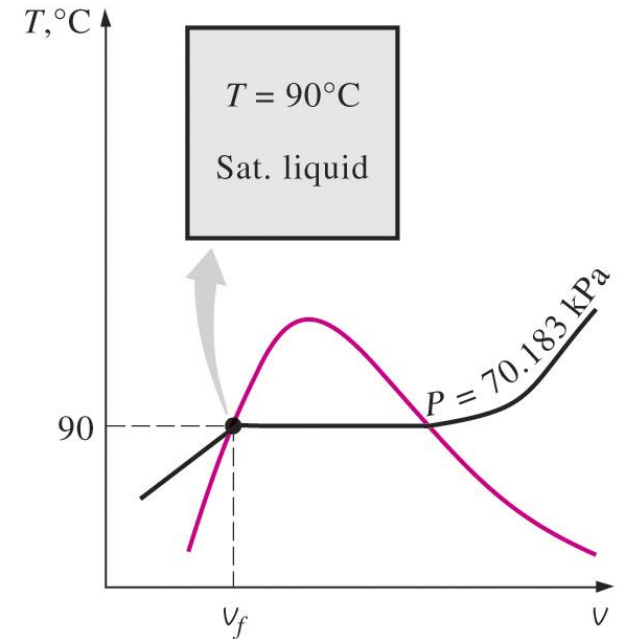
Kap içindeki basınç, doygun sıvı olduğuna göre, bu sıcaklığa tekabül eden doygunluk basıncıdır. $P = P_{\text{doyg.}}(T=90 \text{ oC}) = 70.183 \text{ kPa}$ (A4)

Kabın hacmini bulmak için doygun sıvının özgül hacmini kullanabiliriz (Çünkü bu değere tablolar aracılığı ile ulaşabiliyoruz).

$$v = v_f(T=90 \text{ oC}) = 0.001036 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \text{ (A4)}$$

$$m = \frac{V}{v_f} \text{ ise; } V = m \cdot v_f$$

$$V = 0.001036 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot 50 \text{ kg} = 0.0518 \text{ m}^3$$



ÖRNEK (Doymun buhar ile ilgili)

Bir piston-silindir düzeneğinde 350 kPa basınçta 0.06 m^3 doymuş su buharı vardır. Su buharının sıcaklığını ve kütlesini bulunuz.

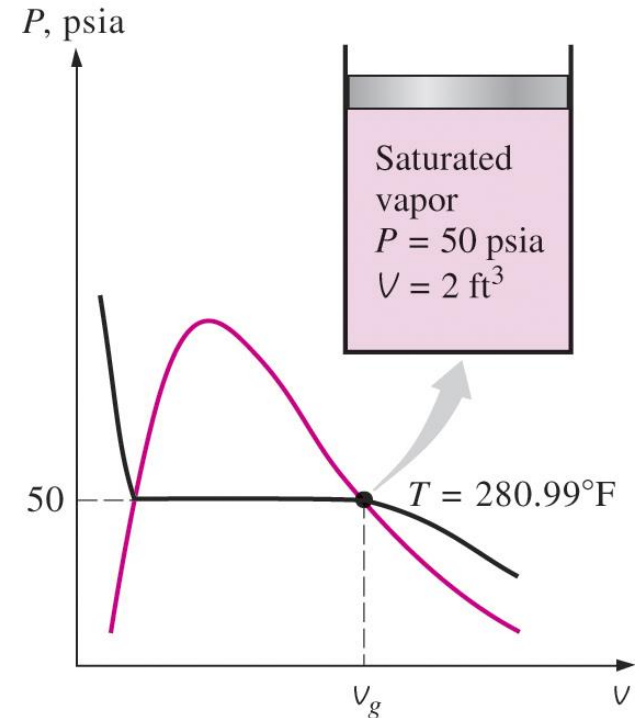
Kap içindeki sıcaklık, doymun buhar olduğuna göre, bu basınca tekabül eden doymunluk sıcaklığıdır.

$$T = T_{\text{doymun}}(P = 350 \text{ kPa}) = 138.86 \text{ oC (A5)}$$

Kabın kütlesini bulmak için doymun buharın özgül hacmini kullanabiliriz (Çünkü bu değere tablolar aracılığı ile ulaşabiliyoruz).

$$v = v_g(P = 350 \text{ kPa}) = 0.52422 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \text{ (A5)}$$

$$m = \frac{V}{v} = \frac{0.06}{0.52422} = 0.114 \text{ kg}$$



ÖDEV

Sabit hacimli kapalı bir kaptaki 70 °C sıcaklıkta 45 kg doymuş sıvı su bulunmaktadır.

- T-V diyagramında çan eğrisi üzerinde akışkanın yerini gösteriniz?
 - Kabın içindeki basıncı bulunuz?
 - Kabın hacmini bulunuz?
 - u_f , u_g , u_{fg} , h_f , h_g , h_{fg} , s_f , s_g , s_{fg} , değerlerini yazınız?
-

Bir piston silindir düzeneğinde 100 kPa basınçta 0.05 m^3 doymuş su buharı bulunmaktadır.

- T-V diyagramında (çan eğrisi üzerinde) akışkanın yerini gösteriniz?
- Kabın sıcaklığını bulunuz?
- Kabın kütesini bulunuz?
- u_f , u_g , u_{fg} , h_f , h_g , h_{fg} , s_f , s_g , s_{fg} , değerlerini yazınız?

3. HAFTA (ÖZET)

T1Y yazılışı

Saf maddeler ve özellikleri

Tablolar

1-Soğuk sıvı

(compressed liquid)

2-Doygun sıvı

(saturated liquid line)

3-Sıvı-Buhar karışımı

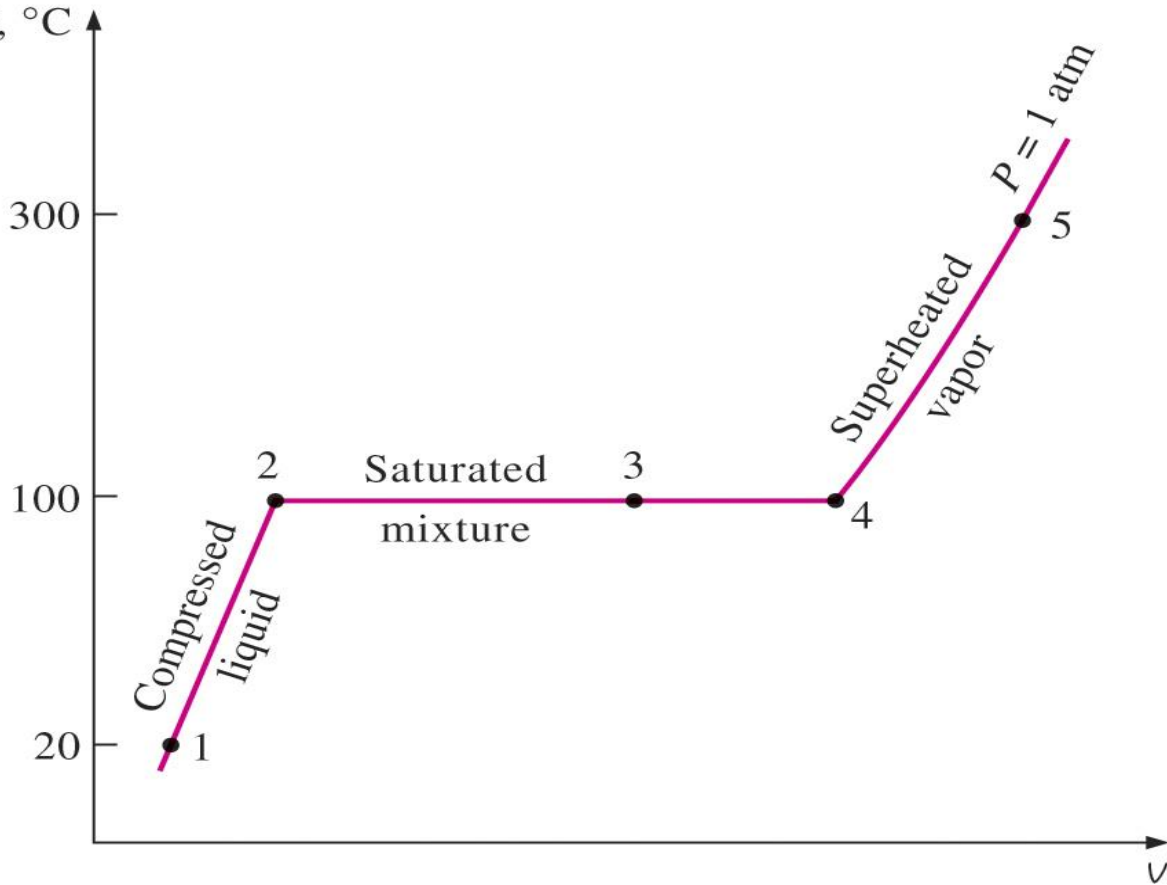
(saturated mixture)

4-Doygun buhar

(saturated vapor line)

5-Kızgın buhar

(superheated vapor)



P=1 atm sabit basınçta suyun ısıtılması ile elde edilen T-v değişim grafiği

3. HAFTA (ÖZET)

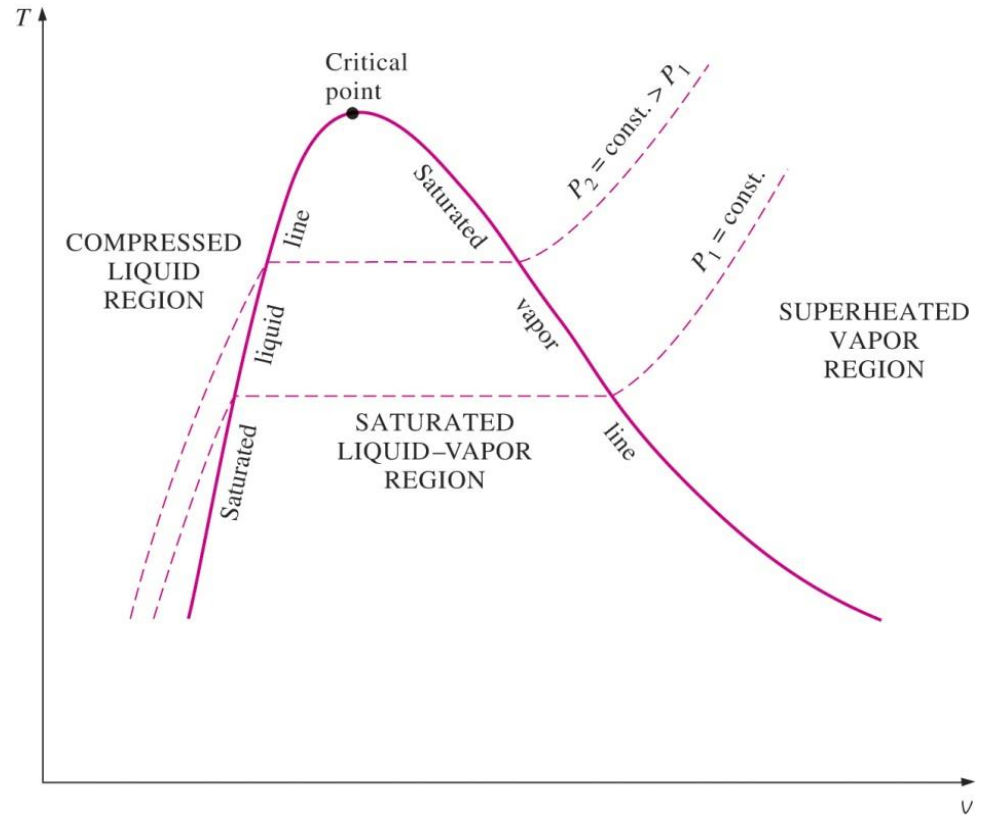
1-Soğuk sıvı bölgesi
(compressed liquid region)

2-Doygun sıvı eğrisi
(saturated liquid line)

3-Sıvı-Buhar karışım bölgesi
(saturated liquid-vapor region)

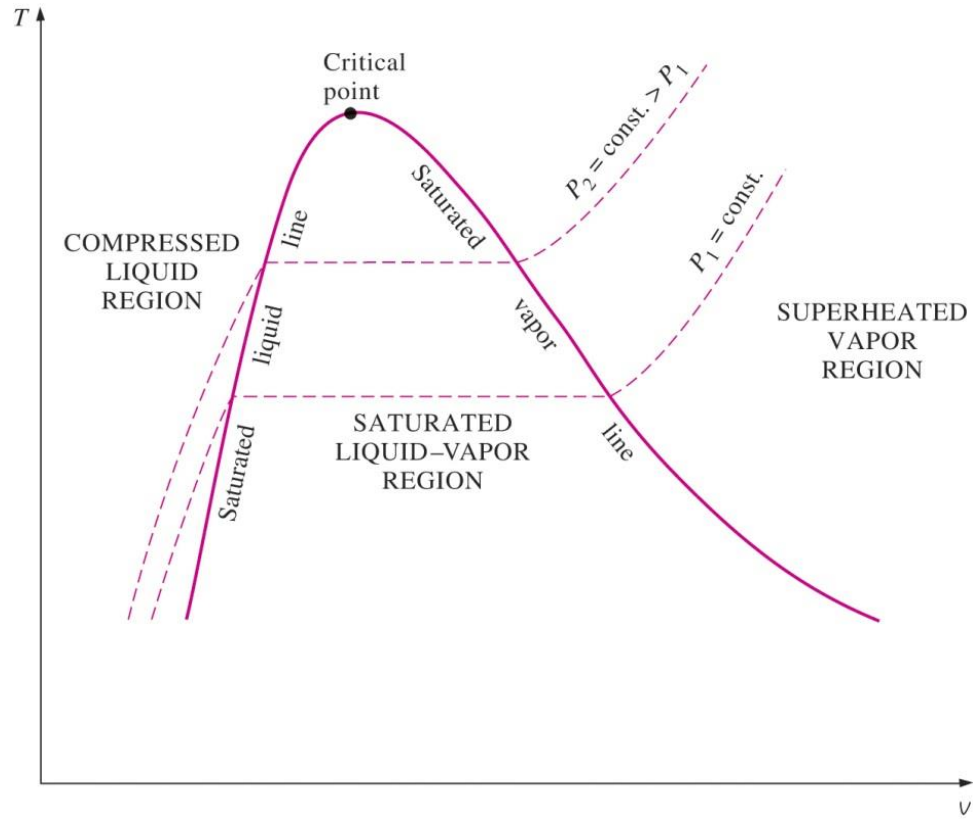
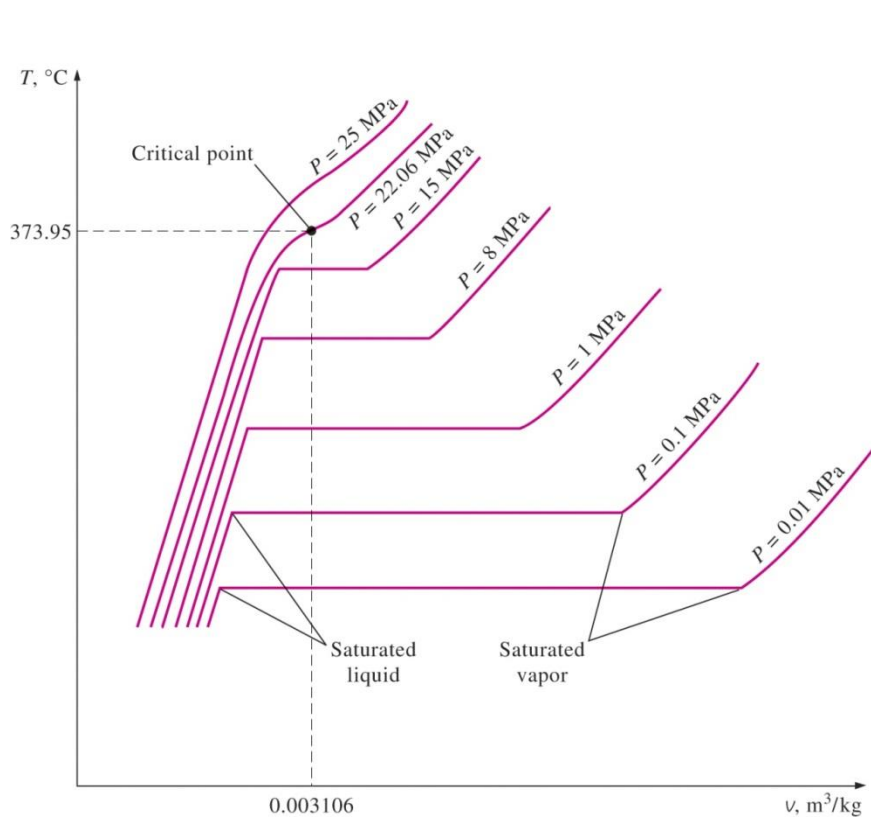
4-Doygun buhar eğrisi
(saturated vapor line)

5-Kızgın buhar bölgesi
(superheated vapor region)



Basıncın sabit fakat artan değerleri için suyun ısıtılması ile elde edilen T-v değişim

3. HAFTA (ÖZET)



3. HAFTA (ÖZET)

T=Sıcaklık, oC ; P=Basınç, kPA

f = Sıvı

g = Buhar

v =Özgül hacim, $\frac{m^3}{kg}$; u = İç enerji

h = Entalpi ; s = entropi

fg = Buhar ile sıvı arasındaki fark

vfg = Buhar ile sıvı arasındaki **özgül hacim** farkı , $vg - vf$

ufg = Buhar ile sıvı arasındaki **iç enerji** farkı, $ug - uf$

hfg = Buhar ile sıvı arasındaki **entalpi** farkı , $hg - hf$

sfg = Buhar ile sıvı arasındaki **entropi** farkı , $sg - sf$

3. HAFTA (ÖZET)

Tablo A1 Mol kütlesi, gaz sabiti ve kritik nokta özellikleri

Tablo A2 Bazı gazların isimleri, kimyasal formülü, R , C_p , C_v , k (C_p / C_v)

Tablo A3 Bazı sıvı, katı ve yiyeceklerin özellikleri (sayfa 888)

Tablo A4 Doymuş su- Sıcaklık tablosu (sayfa 890-891)

Tablo A5 Doymuş su- Basınç tablosu (sayfa 892-893)

Tablo A6 Kızgın su buharı (894-897)

Tablo A7 Sıkıştırılmış sıvı su (898)

Tablo A11 : Doymuş soğutucu akışkan (R-134a) - Sıcaklık tablosu

Tablo A12 : Doymuş soğutucu akışkan (R-134a) – Basınç tablosu

Tablo A13 : Kızgın soğutucu akışkan (R-134a) tablosu

ÖRNEK (Doymuş sıvının doymuş buhar haline getirilmesi ile ilgili)

200 g kütlesindeki doymuş sıvı su, 100 kPa sabit basınçta tümüyle buharlaştırılmaktadır. a)Hacim değişimini, b)Suya verilen enerjiyi bul.?

a)Hacim değişimi v_{fg} dir.

v_{fg} yi 1 kg başına bulabiliriz. (A5)

$$v_{fg} = v_g - v_f = 1.6941 - 0.001043 = 1.6931 \frac{m^3}{kg}$$

O halde 200 g için ;

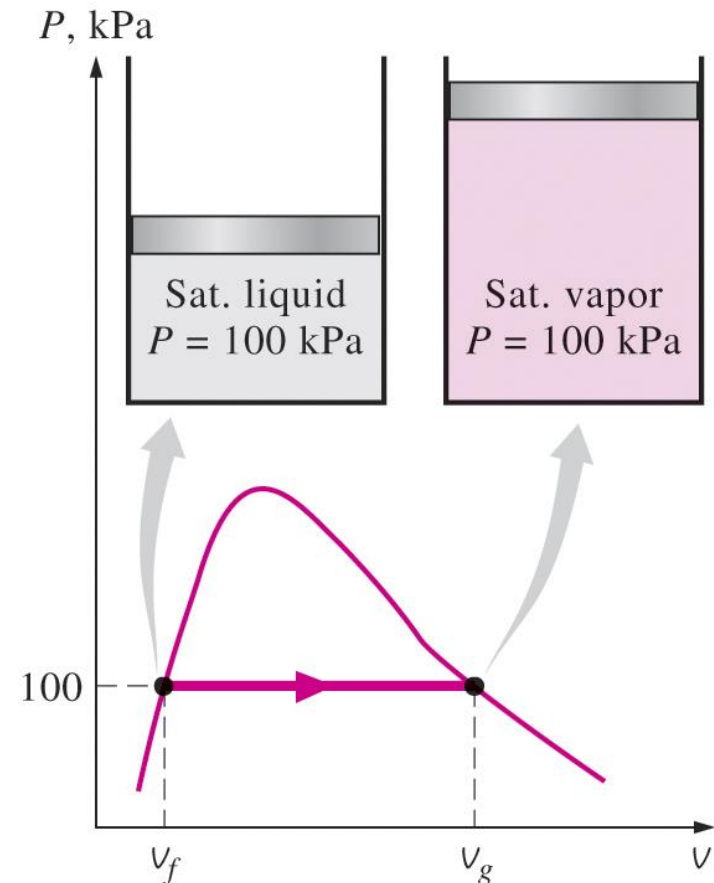
$$1.6931 \frac{m^3}{kg} \cdot 0.2 \text{ kg} = 0.3386 m^3$$

b) Sabit basınçta verilen enerji entalpidir.

O halde h_{fg} bulunmalıdır.

h_{fg} yi 1 kg başına bulabiliriz. $h_{fg} = 2257.5 \frac{kJ}{kg}$ (A5)

$$200 \text{ g için} : 2257.5 \frac{kJ}{kg} \cdot 0.2 \text{ kg} = 451.5 \text{ kJ}$$



Doymuş Sıvı-Buhar Karışımı

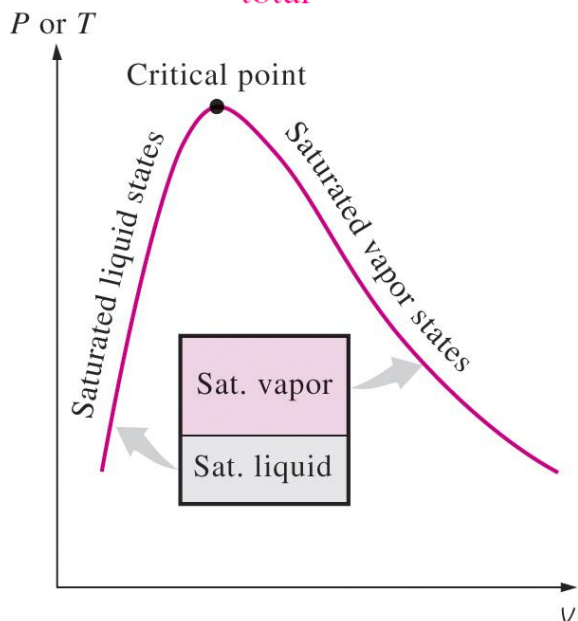
Kuruluk derecesi, x : karışımdaki sıvı ve buhar fazlarının oranı.

Değeri her zaman 0 ile 1 arasındadır. Doymuş sıvı halinde 0, doymuş buhar halinde 1' dir.

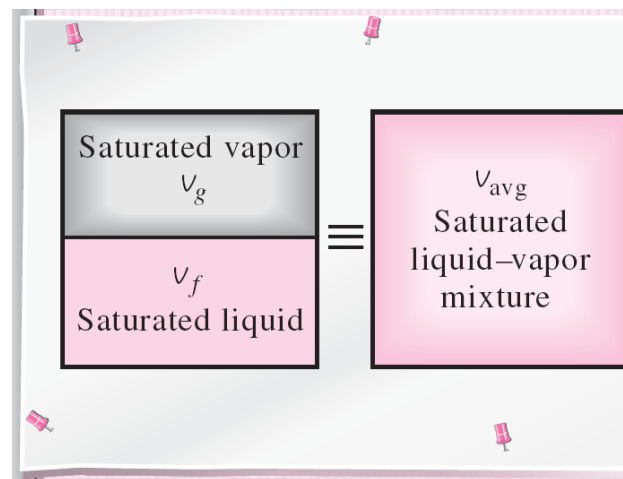
Doymuş sıvının özelliklerinin, tek başına da olsa, doymuş buharla bir karışım içinde de olsa değişmediği vurgulanmalıdır.

$$x = \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{total}}}$$

$$m_{\text{total}} = m_{\text{liquid}} + m_{\text{vapor}} = m_f + m_g$$



Doymuş bir karışımdaki sıvı ve buhar miktarları, kuruluk derecesiyle, x , gösterilir



İki fazlı bir sistem uygunluk için homojen bir karışım gibi davranabilir

Kuruluk derecesi (kalite) , $x = \frac{m_g}{m_t}$

$$V = m.v \quad ; \quad x = \frac{m_g}{m_t} \quad ; \quad m_t = m_g + m_f$$

$$x = \frac{m_g}{m_t} \text{ ve } m_t = m_g + m_f \text{ ise ; } \frac{m_f}{m_t} = 1-x$$

$$V = V_f + V_g$$

$$m_t \cdot v_{ort} = m_f v_f + m_g v_g$$

Her 2 tarafı m_t ile bölelim

$$v_{ort} = \frac{m_f}{m_t} \cdot v_f + \frac{m_g}{m_t} \cdot v_g$$

$$v_{ort} = (1 - x) \cdot v_f + x \cdot v_g$$

$$v_{ort} = v_f - x \cdot v_f + x \cdot v_g \quad \text{ise; } v_{ort} - v_f = x(v_g + v_f)$$

$$v_{ort} - v_f = x \cdot v_{fg} \quad \text{ise ; } x = \frac{v_{ort} - v_f}{v_{fg}}$$

x (kuruluk derecesi, kalite)

$$x = \frac{v_{ort} - v_f}{v_{fg}} \quad (\text{Özgül hacim ile})$$

$$x = \frac{u_{ort} - u_f}{u_{fg}} \quad (\text{İç enerji ile})$$

$$x = \frac{h_{ort} - h_f}{h_{fg}} \quad (\text{Entalpi ile})$$

$$x = \frac{s_{ort} - s_f}{s_{fg}} \quad (\text{Entropi ile})$$

v_{ort} , u_{ort} , h_{ort} , s_{ort} değerleri doygun sıvı-buhar karışımına ait değerlerdir.

v_f , u_f , h_f , s_f değerleri tablodan okunabilir.

u_{fg} , h_{fg} , s_{fg} değerleri tablodan okunabilir.

v_{fg} değeri tablodan okunan v_g ve v_f , ile hesaplanabilir.

O halde kuruluk derecesi, x , bu 4 özellikten herhangi biri ile hesaplanır, sonra bu kuruluk değeri kullanılarak bilinmeyen diğer bir özellik hesaplanabilir.

Doygun sıvı-buhar karışımının (Saturated Liquid-Vapor Region)

v_{ort} , u_{ort} , h_{ort} , s_{ort} değerleri aşağıdaki aralıkta bulunur.

*Özgül hacim: $v_f < v_{ort} < v_g$

$$v_{ort} = v_f + x \cdot v_{fg}$$

*İç enerji: $u_f < u_{ort} < u_g$

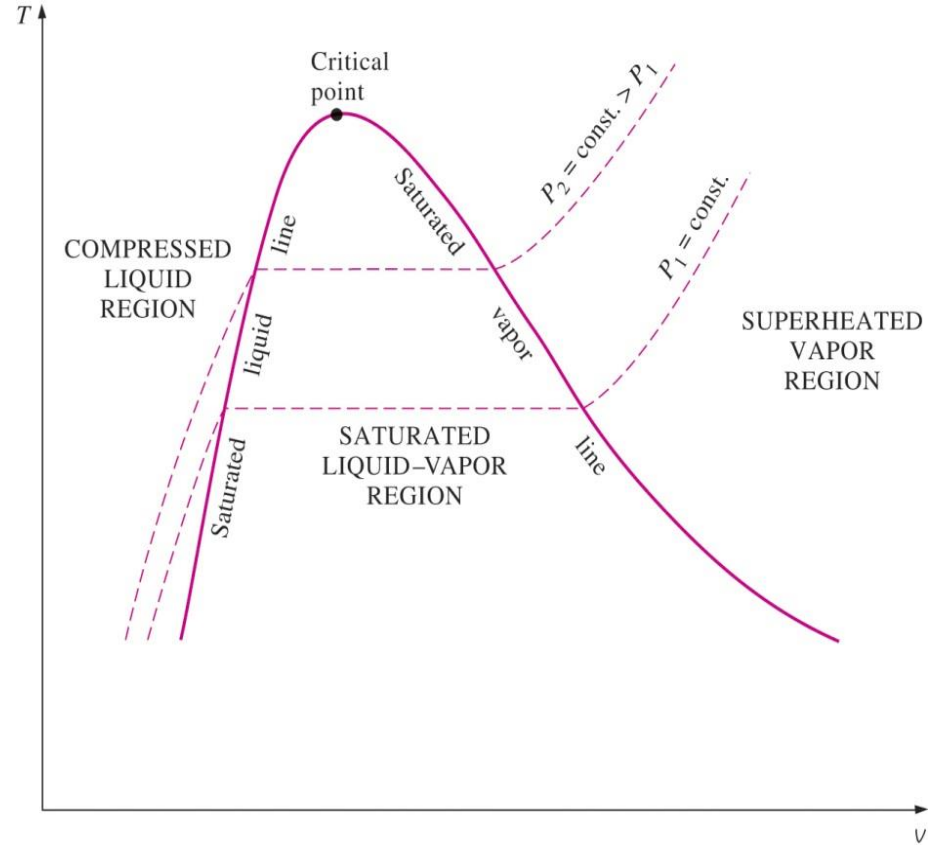
$$u_{ort} = u_f + x \cdot u_{fg}$$

*Entalpi: $h_f < h_{ort} < h_g$

$$h_{ort} = h_f + x \cdot h_{fg}$$

*Entropi: $s_f < s_{ort} < s_g$

$$s_{ort} = s_f + x \cdot s_{fg}$$



$$v_{\text{avg}} = v_f + xv_{fg} \quad (\text{m}^3/\text{kg})$$

$$x = m_g/m_t$$

$$x = \frac{v_{\text{avg}} - v_f}{v_{fg}}$$

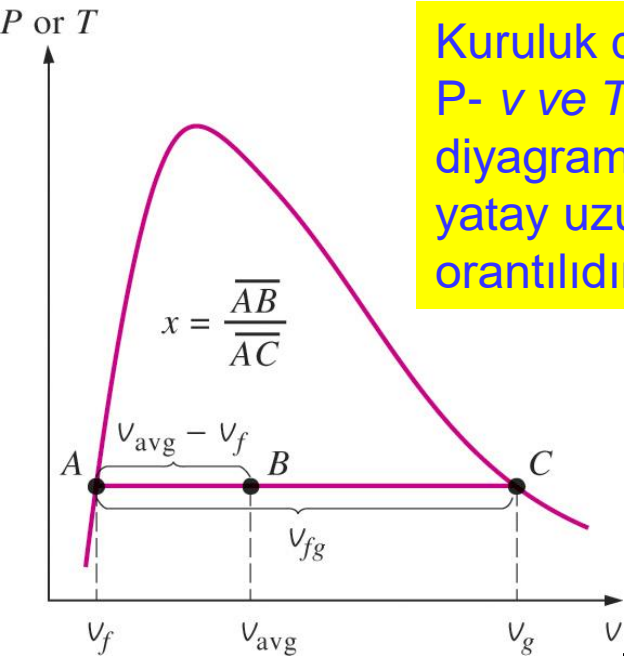
$$u_{\text{avg}} = u_f + xu_{fg} \quad (\text{kJ/kg})$$

$$h_{\text{avg}} = h_f + xh_{fg} \quad (\text{kJ/kg})$$

$y \rightarrow v, u, \text{ or } h.$

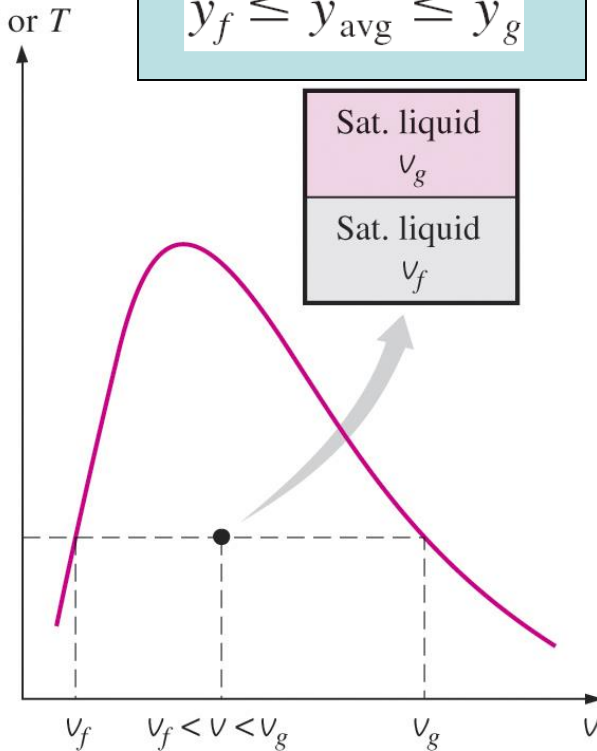
$$y_{\text{avg}} = y_f + xy_{fg}$$

$$y_f \leq y_{\text{avg}} \leq y_g$$



Kuruluk derecesi
P- v ve T- v
diyagramlarında
yatay uzunluklarla
orantılıdır.

Belirli bir T veya P
noktası için doymuş
sıvı-buhar
karışımının v değeri
 v_f ve v_g değerleri
arasında bulunur.



Sat. liquid
 v_g

Sat. liquid
 v_f

Örnek

Sabit hacimli bir kapta 90 oC de 10 kg su bulunmaktadır. Eğer suyun 8 kg'ı sıvı, geriye kalanı buhar fazında ise;

a) Kap içindeki **basıncı** , b) **kabın hacmini** bulunuz?

a) Basınç, 2 faz dengede olduğu için, verilen sıcaklıktaki doyguluk basıncıdır.

$$P = P_{\text{doyg.}}(T=90 \text{ oC}) = 70.183 \text{ kPa (A4)}$$

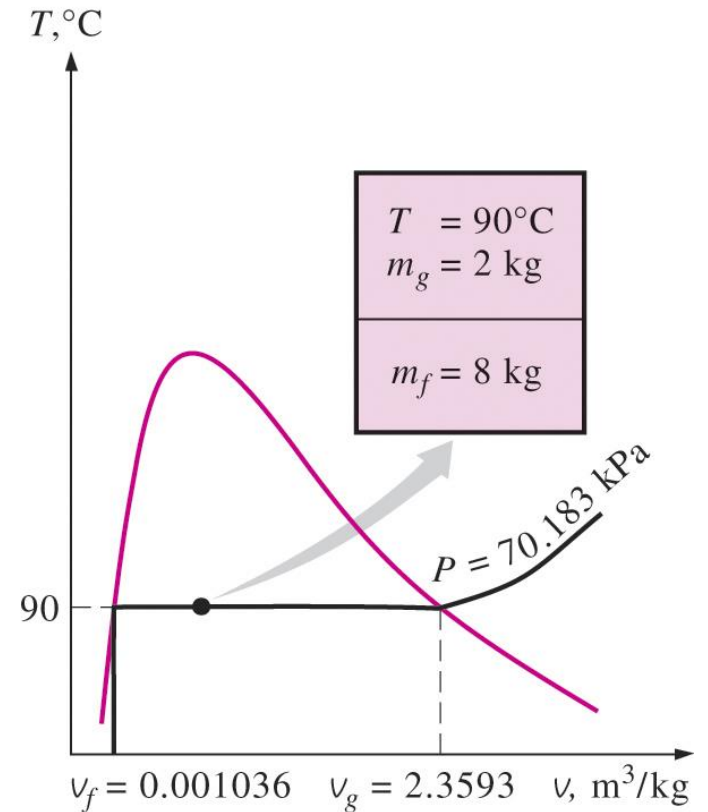
$$\text{b) } V = V_f + V_g \quad T=90 \text{ oC için (A5)}$$

$$V_f = 0.001036 \frac{m^3}{kg} ; V_g = 2.3593 \frac{m^3}{kg} \text{ okunur.}$$

$$V = m_f \cdot v_f + m_g \cdot v_g$$

$$V = 8 \text{ kg} \cdot 0.001036 \frac{m^3}{kg} + (10-8) \text{ kg} \cdot 2.3593 \frac{m^3}{kg}$$

$$= 4.73 \text{ m}^3$$



b seçeneği için 2. yol (kuruluk derecesi üzerinden)

$$x = \frac{m_g}{m_t} = \frac{2}{10} = 0.2$$

$$\text{vort} = v_f + x.v_{fg}$$

$$\text{vort.} = 0.001036 \frac{m^3}{kg} + 0.2 * 2.3593 \frac{m^3}{kg} = 0.473 \frac{m^3}{kg}$$

$$V = m.v \text{ ise ; } V = 10 \text{ kg. } 0.473 \frac{m^3}{kg} = 4.73 \text{ kg}$$

Örnek

80 L'lik bir kapta 160 kPa basınçta 4 kg soğutucu akışkan R-134a bulunmaktadır.

a) Soğutucu akışkanın sıcaklığını

b) Kuruluk derecesini

c) Entalpisini

d) Buhar fazı tarafından kaplanan hacmi bulunuz?

a) $P=160$ kPa için (A-12)

$v_f=0.0007437$ m³/kg ; $v_g= 0.12348$ m³/kg

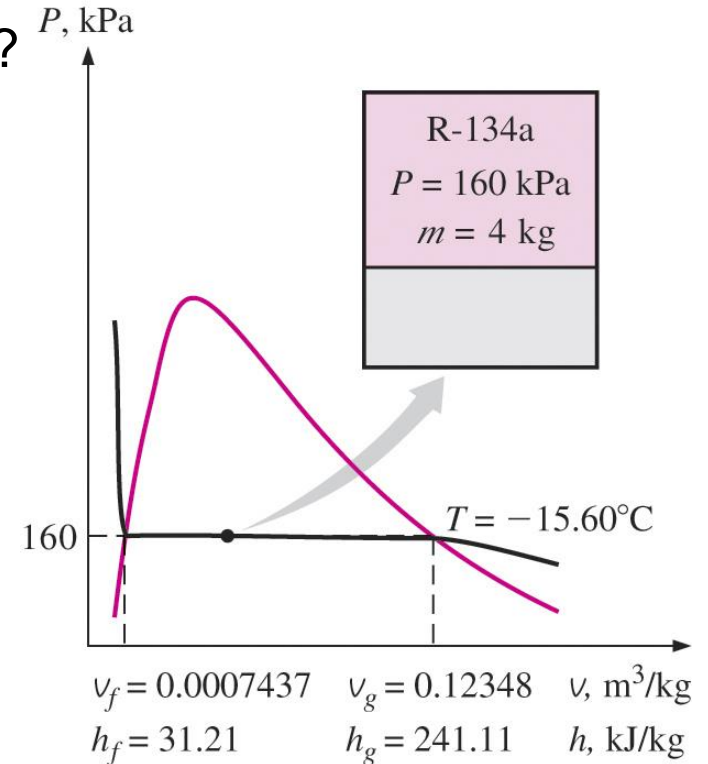
80 L = 0.08 m³

$V=0.08 / 4 = 0.02$ m³/kg

DİKKAT! $0.0007437 < 0.02 < 0.12348$

O halde bu **doygun sıvı-buhar karışımıdır.**

$T=T_{\text{doyg}}(P=160 \text{ kPa}) = -15.60$ oC



$$b) x = \frac{v_{ort} - v_f}{v_{fg}} = \frac{0.02 - 0.0007437}{(0.12348 - 0.0007437)} = 0.157$$

$$c) h_{ort} = h_f + x \cdot h_{fg}$$

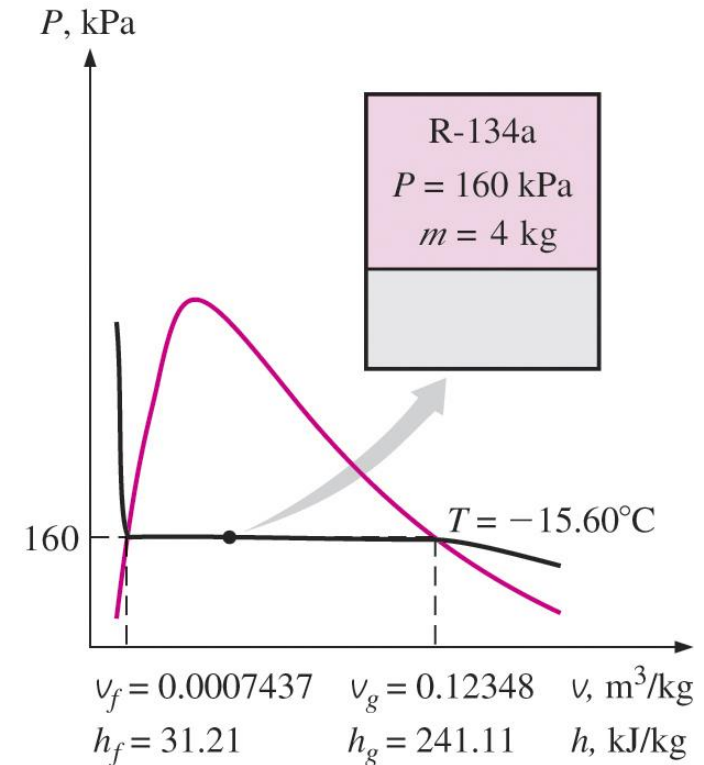
$$h_f = 31.21 \text{ kJ/kg} ; \quad h_{fg} = 209.90 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{ort} = 31.21 + 0.157 \cdot 209.90 = 64.2 \text{ kJ/kg}$$

$$d) m_g = x \cdot m_t$$

$$m_g = 0.157 \cdot 4 = 0.628 \text{ kg}$$

$$V_g = m_g \cdot v_g = 0.628 \cdot 0.12348 = 0.07775 \text{ m}^3 = 77.5 \text{ L}$$



Kızgın Buhar

Doymuş buhar eğrisinin sağındaki bölgede ve kritik noktasal sıcaklığın üzerindeki sıcaklıkta madde kızgın buhardır.

Kızgın buhar bölgesi tek fazlı (sadece buhar fazı) bir bölge olduğundan, sıcaklık ve basınç artık birbirlerine bağlı değildir.

$T, ^\circ\text{C}$	v m^3/kg	u kJ/kg	h kJ/kg
$P = 0.1 \text{ MPa} (99.61^\circ\text{C})$			
Sat.	1.6941	2505.6	2675.0
100	1.6959	2506.2	2675.8
150	1.9367	2582.9	2776.6
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
1300	7.2605	4687.2	5413.3
$P = 0.5 \text{ MPa} (151.83^\circ\text{C})$			
Sat.	0.37483	2560.7	2748.1
200	0.42503	2643.3	2855.8
250	0.47443	2723.8	2961.0

Tablo A-6'nın bir bölümü

Kızgın buhar ile doymuş buharın karşılaştırılması

Lower pressures ($P < P_{\text{sat}}$ at a given T)

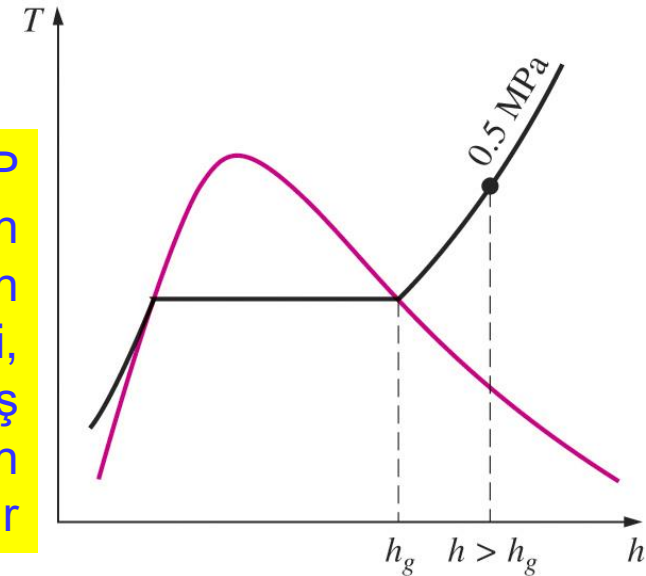
Higher temperatures ($T > T_{\text{sat}}$ at a given P)

Higher specific volumes ($v > v_g$ at a given P or T)

Higher internal energies ($u > u_g$ at a given P or T)

Higher enthalpies ($h > h_g$ at a given P or T)

Belirli bir P noktası için kızgın buharın entalpisi, doymuş buharından daha yüksektir



ÖRNEK

Suyun 200 kPa basınç ve 300 oC sıcaklıktaki iç enerjisini bulunuz?

Öncelikle faz durumu tespit edilmeli ki hangi tabloyu kullanacağımıza karar verelim.

1.Yol : $P=200$ kPa için $T_{\text{doyg.}}= 120.21$ oC (A5)

300 oC $>$ 120.21 oC olduğu için; **kızgın buhar** dır.

Kızgın buhar olduğu tespit edildiğine göre; A6 tablosuna gidilir.

$P=200$ kPa = 0.2 MPa ve $T=300$ oC için $u=2808.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

2.Yol : $T=300$ oC için $P_{\text{doyg.}}= 8587.9$ kPa (A4)

200 kPa $<$ 8587.9 kPa olduğu için **kızgın buhardır**.

Kızgın buhar olduğu tespit edildiğine göre; A6 tablosuna gidilir.

$P=200$ kPa = 0.2 MPa ve $T=300$ oC için $u=2808.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

SORU : Basıncı 0.5 Mpa, entalpisi $2890 \frac{kJ}{kg}$ olan suyun sıcaklığını bulunuz?

Öncelikle faz durumu tespit edilmeli ki hangi tabloyu kullanacağımıza karar verelim. 0.5 Mpa için $h_g = 2748.1 \frac{kJ}{kg}$ dır.

2890 > 2748.1 olduğu için kızgın buhardır. O halde A6 tablosuna gitmeliyiz.

P=0.5 Mpa için A6 tablosu aşağıdaki gibidir.

1.yorum: 2890 değeri 2855.8 den büyük 2961.0 değerinden küçüktür. O halde sıcaklık 200 oC ile 250 oC aralığındadır.

2855.8 değerine yakın olduğu içinde 200 oC den biraz fazladır diyebiliriz.

T (oC)	h (kJ/kg)
Doymuş (151.83)	2748.1
200	2855.8
250	2961.0
300	3064.6

Gerçek değerini bulmak için **doğrusal oranlama tekniği** kullanılır.

Bu tekniğin detayı bir sonraki sayfadadır.

Doğrusal oranlama tekniği : Tespit edilen aralıktaki değerlerin arasındaki oranı bulalım.

1.yol:

$$250 - 200 = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$2961.0 - 2748.1 = 105.2 \text{ kJ}$$

$$105.2 \text{ kJ} / 50 \text{ }^{\circ}\text{C} = 2.104 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C}$$

(Demekki 1 $^{\circ}\text{C}$ artışa karşılık 2.104 kJ artış olmaktadır)

$$2961.0 - 2890 = 71 \text{ kJ}$$

$$71 / 2.104 = 33.74 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$250 - 33.74 = 216.26 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

2.yol:

$$250 - 200 = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$2961.0 - 2748.1 = 105.2 \text{ kJ}$$

$$105.2 \text{ kJ} / 50 \text{ }^{\circ}\text{C} = 2.104 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C}$$

(Demekki 1 $^{\circ}\text{C}$ artışa karşılık 2.104 kJ artış olmaktadır)

$$2890 - 2855.8 = 34.2 \text{ kJ}$$

$$34.2 / 2.104 = 16.25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$200 + 16.25 = 216.25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Sıkıştırılmış Sıvı

Sıkıştırılmış sıvıya ilişkin bilgilerin yokluğunda, *sıkıştırılmış sıvı özelliklerini doymuş sıvı özelliklerine eşit almak, genellikle benimsenen bir uygulamadır*

$$y \cong y_f @ T \quad \mathbf{y} \rightarrow v, u, \text{ or } h$$

Hassas olarak "h" ilişkisini hesaplamak için;

$$h \cong h_f @ T + v_{f@T} (P - P_{\text{sat}@T})$$

Given: P and T

$$v \cong v_f @ T$$

$$u \cong u_f @ T$$

$$h \cong h_f @ T$$

Verilen bir sıcaklıkta sıkıştırılmış sıvının özellikleri doymuş sıvı özelliklerine yaklaşık olarak eşit alınabilir.

Verilen bir basınç ve sıcaklıkta, saf bir madde, $T < T_{\text{sat}}$ @ P olduğu zaman sıkıştırılmış sıvı olacaktır.

Sıkıştırılmış sıvı bölgesinde özellikler

Higher pressures ($P > P_{\text{sat}}$ at a given T)

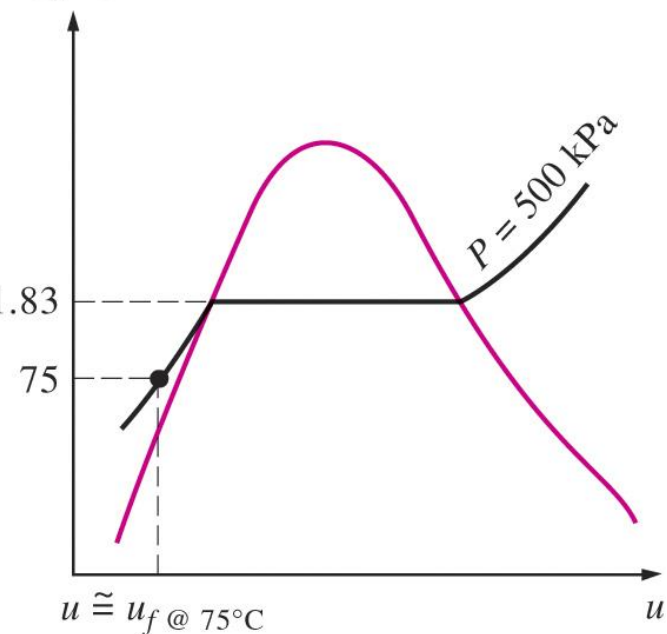
Lower temperatures ($T < T_{\text{sat}}$ at a given P)

Lower specific volumes ($v < v_f$ at a given P or T)

Lower internal energies ($u < u_f$ at a given P or T)

Lower enthalpies ($h < h_f$ at a given P or T)

$T, ^\circ\text{C}$



ÖRNEK

80 oC sıcaklık ve 5 Mpa basınçta suyun özgül iç enerjisini

a) Tablosunu kullanarak bulunuz?

b) Doymuş sıvı özellikleri ile bulunuz? c) Hata yüzdesini hesaplayınız?

a) Öncelikle faz durumu tespit edilmeli ki hangi tabloyu kullanacağımıza karar verelim. 80 oC için $P_{\text{doyg.}} = 47.416 \text{ kPa}$ (A4)

5MPa(5000 kPa) > 47.416 kPa olduğu için **sıkıştırılmış sıvı (soğuk sıvı)** dır

Soğuk sıvı olduğu tespit edildiğine göre; **A7** tablosuna gidilir.

$P=5 \text{ Ma}$ ve $T=80 \text{ oC}$ için $u = 333.82 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ dır. (A7)

b) $u = u_f (T=80 \text{ oC için}) = 334.97 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ dır. (A4)

c) $\% \text{hata} = \frac{334.97 - 333.82}{333.82} \cdot 10^2 = 0.34$

Referans Hali ve Referans Değerleri

u , h ve s 'nin değerleri doğrudan ölçülemez, termodinamik bağıntılar kullanılarak ölçülebilen özelliklerden hesaplanır. Söz konusu termodinamik bağıntılar özelliklerin bir haldeki değerlerini değil, özelliklerin değişimlerini verir. Bu nedenle, uygun bir referans halinin seçilmesi ve uygun özellik veya özelliklere bu noktada sıfır değerinin atanması gerekir.

Su için referans hali $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve soğutucu akışkan-134a için referans hali $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$

Bazı özelliklerin seçilen referans halinden dolayı eksi değerler alacağı not edilmelidir.

Tabloların hazırlanması sırasında bazen aynı madde ve hal için değişik tablolarda farklı değerler bulmak olasıdır. Fakat termodinamik hesaplarında özelliklerin mutlak değerlerinden çok, özelliklerde olan değişimler önem taşır.

Saturated water—Temperature table

Temp., $T\text{ }^{\circ}\text{C}$	Sat. press., P_{sat} kPa	Specific volume, m^3/kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, v_f	Sat. vapor, v_g	Sat. liquid, u_f	Evap., u_{fg}	Sat. vapor, u_g	Sat. liquid, h_f	Evap., h_{fg}	Sat. vapor, h_g	Sat. liquid, s_f	Evap., s_{fg}	Sat. vapor, s_g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249

Saturated refrigerant-134a—Temperature table

Temp., $T\text{ }^{\circ}\text{C}$	Sat. press., P_{sat} kPa	Specific volume, m^3/kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, v_f	Sat. vapor, v_g	Sat. liquid, u_f	Evap., u_{fg}	Sat. vapor, u_g	Sat. liquid, h_f	Evap., h_{fg}	Sat. vapor, h_g	Sat. liquid, s_f	Evap., s_{fg}	Sat. vapor, s_g
-40	51.25	0.0007054	0.36081	-0.036	207.40	207.37	0.000	225.86	225.86	0.00000	0.96866	0.96866

Aşağıdaki çizelgede eksik olan özellikleri su için bulunuz?

	T(oC)	P(kPa)	U(kJ/kg)	X	Faz durumu
a)	?	200	?	0.6	?

X=0.6 olarak verildiğine göre faz: doymuş sıvı-buhar karışımıdır.
Çünkü doymuş sıvı-buhar karışımında $0 < X < 1$ dir.

Sıcaklık, P=200 kPa'a tekabül eden doymuşluk sıcaklığıdır.

$$T = T_{\text{doymuş}}(P=200 \text{ kPa}) = 120.21 \text{ oC} \quad (\text{A5})$$

$$U = u(\text{ort.}) = u_f + x \cdot u_{fg} \quad \text{ise ;} \quad u_f = 504.50 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad ; \quad u_{fg} = 2024.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (\text{A5})$$

$$u_{\text{ort}} = 504.50 + 0.6 * 2024.6 = 1719.26 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Aşağıdaki çizelgede eksik olan özellikleri su için bulunuz?

	T(oC)	P(kPa)	U(kJ/kg)	X	Faz durumu
b)	125	?	1600	?	?

$$T=125 \text{ oC için } u_f=524.83 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, u_g=2534.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (\text{A4})$$

$524.83 < 1600 < 2534.3$ olduğuna göre; faz: doygun sıvı-buhar karışımıdır. Çünkü doygun sıvı-buhar karışımında $u_f < u < u_g$ dir.

Basınç , $T=125 \text{ oC}$ 'ye tekabül eden doygunluk basıncıdır.

$$P=P_{\text{doyg.}}(T=125 \text{ oC}) = 232.23 \text{ kPa} \quad (\text{A4})$$

$$X = \frac{u - u_f}{u_{fg}} = \frac{1600 - 524.83}{2009.5} = 0.535$$

Aşağıdaki çizelgede eksik olan özellikleri su için bulunuz?

	T(oC)	P(kPa)	U(kJ/kg)	X	Faz durumu
c)	?	1000	2950	?	?

$$P=1000 \text{ kPa için } u_f=761.39 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, u_g=2582.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (\text{A5})$$

2950 > 2582.8 olduğuna göre; faz: kızgın buhardır. Çünkü kızgın buharda $u > u_g$ dir. X=Faz durumu kızgın buhar olduğu için kuruluk derecesinden bahsedilemez.

A6 tablosunda 2950 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ değerinin denk geldiği aralık 350 ile 400 oC dir.

Dolayısıyla sıcaklıkta 350 oC'den büyük 400 oC'den küçüktür.

Doğrusal oranlama tekniğini kullanarak **T=395.2 oC** bulunur.

$$T=350 \text{ oC için } h=2875.7 \quad \text{ve} \quad T=400 \text{ oC için } h=2957.9$$

$$400-350=50 \text{ oC} \quad 2957.9-2875.7=82.2 \quad 82.2/50=1.644$$

$$2950-2875.7 = 74.3 \quad 74.3/1.644=45.19 \quad 350 + 45.19 = 395.2 \text{ oC}$$

Aşağıdaki çizelgede eksik olan özellikleri su için bulunuz?

	T(oC)	P(kPa)	U(kJ/kg)	X	Faz durumu
d)	75	500	?	?	?

$$P=500 \text{ kPa için } T_{\text{doyg.}} = 151.83 \text{ oC} \quad (\text{A5})$$

75 oC < 151.83 oC olduğuna göre; faz: sıkıştırılmış (soğuk) sıvıdır.
Çünkü soğuk sıvı faz durumunda $T < T_{\text{doyg.}}$.

X = Faz durumu soğuk sıvı olduğu için kuruluk derecesinden bahsedilemez.

$$U = u_f(T=75 \text{ oC}) = 313.99 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

NOT: İç enerji, basınçtan ziyade sıcaklığın önemli bir fonksiyonudur.
Dolayısıyla u_f değeri okunurken basınç değeri değil sıcaklık değeri dikkate alınmıştır.

Aşağıdaki çizelgede eksik olan özellikleri su için bulunuz?

	T(oC)	P(kPa)	U(kJ/kg)	X	Faz durumu
e)	?	850	?	0	?

X=0 olarak verildiğine göre, faz durumu doymuş sıvı halindedir.

Çünkü doymuş sıvıda x=0'dır.

$$T = T_{\text{doymuş}}(P=850 \text{ kPa}) = 172.94 \text{ oC} \quad (\text{A5})$$

$$u = u_f (P=850 \text{ kPa için}) = 731.00 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (\text{A5})$$

ÖDEV: Aşağıdaki çizelgede eksik olan özellikleri su için bulunuz?

	T(oC)	P(kPa)	h (kJ/kg)	X	Faz durumu
a)	?	200		0.7	?
b)	140	?	1800	?	?
c)	?	850	?	0.0	?
d)	80	500	?	?	?
e)	?	800	3162.2	?	?

ÖDEV: Aşağıdaki çizelgede eksik olan özellikleri R-134a soğutucu akışkan için bulunuz?

	T(oC)	P(kPa)	v (m³/kg)	Faz durumu
a)	-8	320	?	?
b)	30	?	0.015	?
c)	?	180		Doygun buhar
d)	80	600	?	?
	T(oC)	P(kPa)	u (kJ/kg)	Faz durumu
a)	20	?	95	?
b)	-12	?	?	Doygun sıvı
c)	?	400	300	?
d)	8	600	?	?

4. HAFTA ÖZET

Doymuş Sıvı-Buhar Karışımı : v_{ort} , u_{ort} , h_{ort} , s_{ort}

X= Kuruluk derecesi (kalite) $x = \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{total}}}$

X=0 ise doymuş sıvı

X=1 ise doymuş buhar

0 < X < 1 ise doymuş sıvı-buhar karışımı

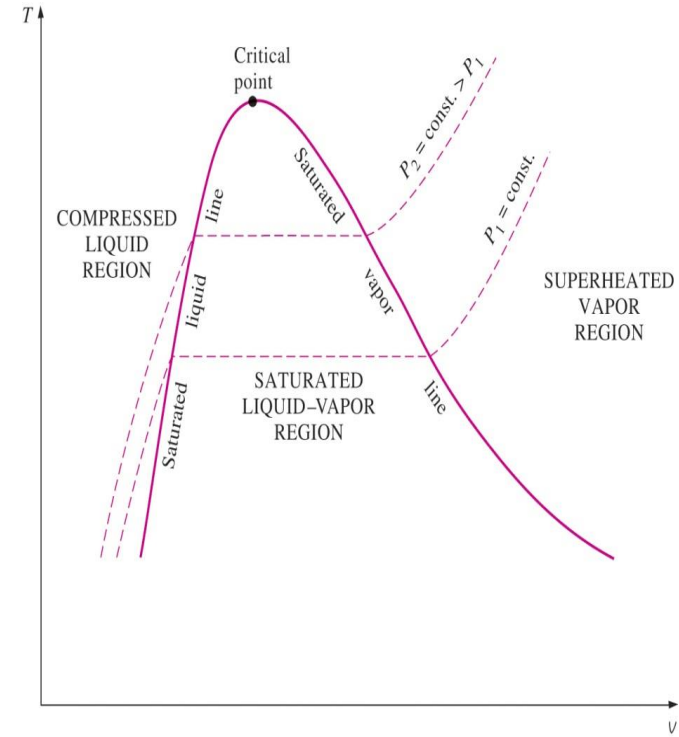
$$v_{ort} = v_f + x \cdot v_{fg}$$

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

$$h_{ort} = h_f + x \cdot h_{fg}$$

$$s_{ort} = s_f + x \cdot s_{fg}$$

$$X = \frac{U_{ort} - u_f}{(u_g - u_f)} = \frac{v_{ort} - v_f}{(v_g - v_f)} = \frac{h_{ort} - h_f}{(h_g - h_f)} = \frac{s_{ort} - s_f}{(s_g - s_f)}$$



4. Hafta (Özet)

Kızgın buhar

Kızgın buhar ile doymuş buharın karşılaştırılması

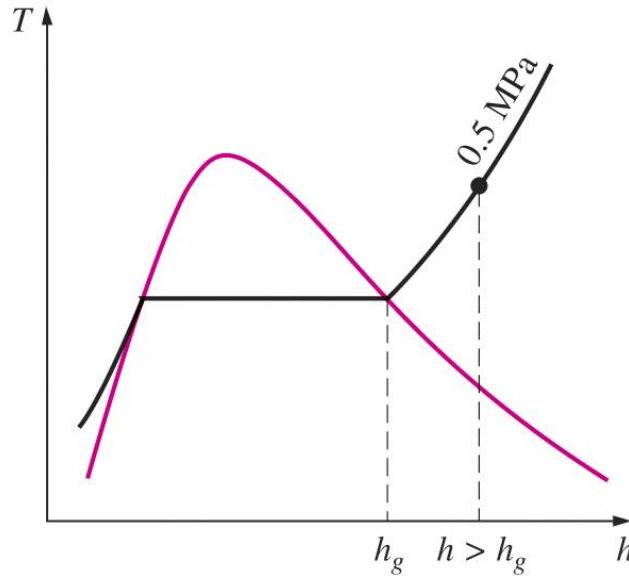
$P < P_{\text{doyg.}}$ (Verilen sıcaklık değerindeki $P_{\text{doyg.}}$)

$T > T_{\text{doyg.}}$ (Verilen basınç değerindeki $T_{\text{doyg.}}$)

$$v > v_g$$

$$u > u_g$$

$$h > h_g$$



$T, ^\circ\text{C}$	v	u	h
	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg
$P = 0.1 \text{ MPa} (99.61^\circ\text{C})$			
Sat.	1.6941	2505.6	2675.0
100	1.6959	2506.2	2675.8
150	1.9367	2582.9	2776.6
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
1300	7.2605	4687.2	5413.3
$P = 0.5 \text{ MPa} (151.83^\circ\text{C})$			
Sat.	0.37483	2560.7	2748.1
200	0.42503	2643.3	2855.8
250	0.47443	2723.8	2961.0

Tablo A-6'nın
bir bölümü

4. Hafta (Özet)

Soğuk sıvı (Sıkıştırılmış sıvı)

Soğuk sıvı ile doymuş sıvının karşılaştırılması

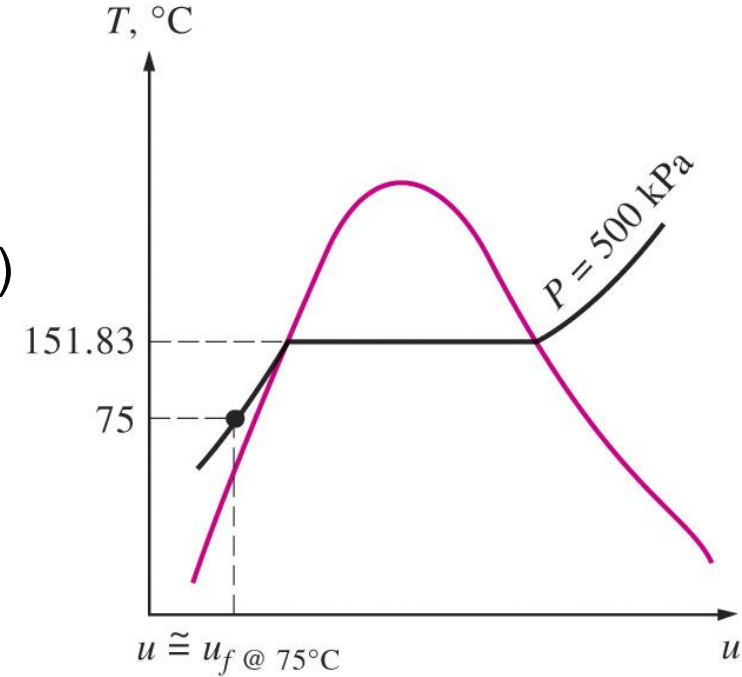
$P > P_{\text{doyg.}}$ (Verilen sıcaklık değerindeki $P_{\text{doyg.}}$)

$T < T_{\text{doyg.}}$ (Verilen basınç değerindeki $T_{\text{doyg.}}$)

$v < v_f$; $u < u_f$; $h < h_f$

Tablo A7 ile su için soğuk sıvı özellikleri okunabilir.

Verilen bir sıcaklıkta sıkıştırılmış sıvının özellikleri doymuş sıvı özelliklerine yaklaşık olarak **eşit** alınabilir.



Bölüm 4

KAPALI SİSTEMLERİN

ENERJİ ANALİZİ

Amaçlar

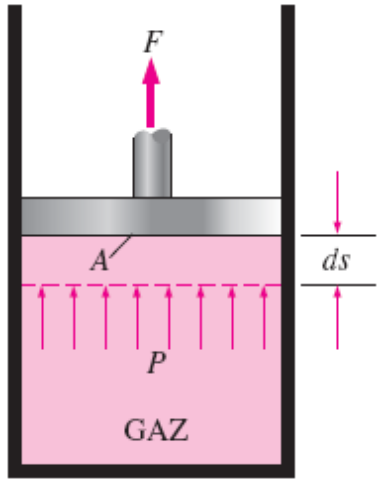
- Özellikle **otomobil motoru ve kompresör gibi** pistonlu makinelerde yaygın olarak karşılaşılan hareketli sınır işi veya PdV işi olmak üzere değişik iş biçimlerinin incelenmesi,
- **Kapalı sistemler (Sabit kütleli) için Termodinamiğin birinci yasasının enerjinin korunumu ifadesi olduğunun tanıtılması,**
- Kapalı sistemler için genel enerji dengesi bağıntısının geliştirilmesi,
- Saf maddeler, mükemmel gazlar ve sıkıştırılmayan maddeler için iş ve ısı etkileşimleri içeren kapalı sistemlerin (sabit kütleli) enerji dengesi problemlerinin çözülmesi

HAREKETLİ SINIR İŞİ

Hareketli sınır işi ($P dV$ işi): Bir gazın piston-silindir düzeneğinde genişlemesi veya sıkıştırılması sırasında gerçekleşir

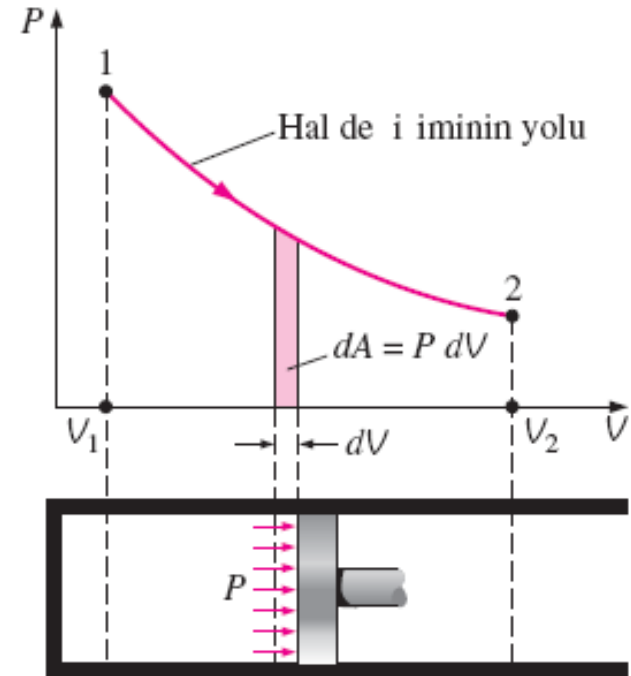
$$W_s = \int_1^2 P dV \quad (\text{kJ})$$

$$\text{Alan} = A = \int_1^2 dA = \int_1^2 P dV$$



Gaz pistonu iterek ds diferansiyel miktarında hareket ettirirken δW_s miktarında iş yapar.

$$\delta W_s = F ds = PA ds = P dV$$



P-V diyagramında hal değişimi eğrisi altında kalan alan işi gösterir.

KAPALI SİSTEMLER İÇİN ENERJİ DENGESİ

$$\underbrace{E_{\text{giren}} - E_{\text{çıkan}}}_{\text{Isı, iş ve kütle ile net enerji transferi}} = \underbrace{\Delta E_{\text{sistem}}}_{\text{İç enerji, kinetik ve potansiyel enerjilerdeki değişim}} \quad (\text{kJ})$$

Hal değişimi gerçekleştiren herhangi bir sistem için enerji dengesi.

$$\underbrace{\dot{E}_{\text{giren}} - \dot{E}_{\text{çıkan}}}_{\text{Isı, iş ve kütle ile net enerji transferi oranı}} = \underbrace{dE_{\text{sistem}}/dt}_{\text{İç enerji, kinetik ve potansiyel enerjilerdeki değişim oranı}} \quad (\text{kW})$$

birim zaman için.

$$e_{\text{giren}} - e_{\text{çıkan}} = \Delta e_{\text{sistem}} \quad (\text{kJ/kg})$$

Birim kütle için enerji dengesi

$$W_{\text{net,çıkan}} = Q_{\text{net,giren}} \text{ veya } \dot{W}_{\text{net,çıkan}} = \dot{Q}_{\text{net,giren}}$$

Çevrim için enerji denklemi

Birinci yasayı matematiksel olarak kanıtlamak olanaksızdır, fakat doğada birinci yasaya aykırı herhangi bir hal değişimi bilinmemektedir, bu da yeterli kanıt sayılmalıdır.

Sistem: Kapalı , genleşme işi yok

Kullanılacak enerji fonksiyonu : U

Tabloda yer alan değerler 1 kg başına verilmektedir.

U: Tüm sistem kütlelerini kapsar

u: Sistemin 1 kg'ı için okunan değer

$$\Delta U = U_2 - U_1 = m \cdot (u_2 - u_1)$$

$$\Delta U = U_2 - U_1 = m \cdot C_v \cdot (T_2 - T_1)$$

Sistem: Kapalı ama genleşme işi var.

Kullanılacak enerji fonksiyonu : $U + pV = H$

Tabloda yer alan değerler 1 kg başına verilmektedir.

H: Tüm sistem kütlelerini kapsar

h: Sistemin 1 kg'ı için okunan değer

$$\Delta H = H_2 - H_1 = m \cdot (h_2 - h_1)$$

$$\Delta H = H_2 - H_1 = m \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1)$$

Sistem: Açık

Kullanılacak enerji fonksiyonu : H

Tabloda yer alan değerler 1 kg başına verilmektedir.

H: Tüm sistem kütlelerini kapsar

h: Sistemin 1 kg'ı için okunan değer

$$\Delta H = H_2 - H_1 = m \cdot (h_2 - h_1)$$

$$\Delta H = H_2 - H_1 = m \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1)$$

Sabit Basıncı bir genişleme ve sıkıştırma işlemi için enerji denkliği

Sabit basınçta sıkıştırma ve genişleme işlemi için:

$$\Delta U + W_s = \Delta H$$

Sabit basınçta hal değişim örneği

$$W_{e,giren} - Q_{çıkan} - W_s = \Delta U$$

$$W_{e,giren} - Q_{çıkan} = \Delta H = m(h_2 - h_1)$$

$$\underbrace{E_{giren} - E_{çıkan}}_{\text{Isı, iş ve kütle ile transfer edilen net enerji}} = \underbrace{\Delta E_{sistem}}_{\text{İç enerji, kinetik ve potansiyel enerjilerdeki değişim}}$$

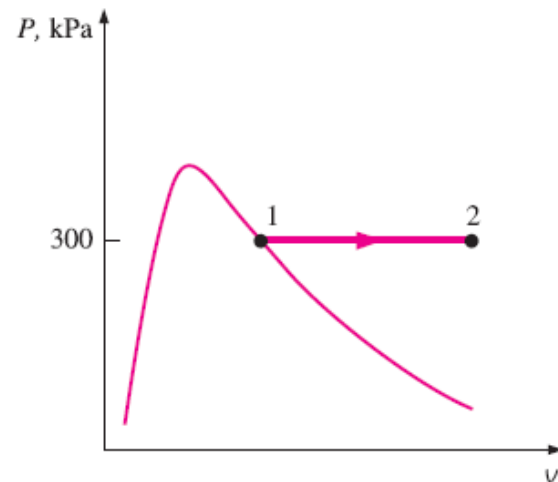
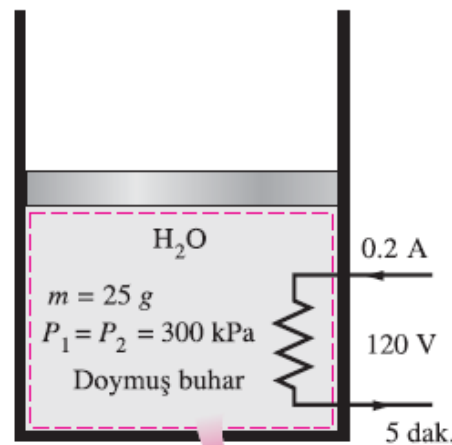
$$Q - W = \Delta U + \Delta KE^0 + \Delta PE^0$$

$$Q - W_{diğer} - W_s = U_2 - U_1$$

$$Q - W_{diğer} - P_0(V_2 - V_1) = U_2 - U_1$$

$$Q - W_{diğer} = (U_2 + P_2V_2) - (U_1 + P_1V_1)$$

$$Q - W_{diğer} = H_2 - H_1 \quad (\text{kJ})$$



ÖRNEK

Sürtünmesiz bir piston-silindir düzeneğinde **400 kPa basınç ve 200 oC sıcaklıkta 5 kg** su buharı vardır. Daha sonra buhara ısı geçişi olmakta ve sıcaklığı **sabit basınçta 250 oC'ye** yükselmektedir. Pistonun serbest hareket edebildiğini ve kütlelerinin sabit olduğunu kabul ederek buhar tarafından yapılan işi bulunuz?

1.yol:

$$W = P_o (V_2 - V_1) = P_o \cdot m \cdot (v_2 - v_1)$$

v_2 ve v_1 ' i bulmak için öncelikle **hangi faz durumunda** olduğunu bilmemiz gerekir.

v1 için:

P=400 kPa için T_{doyg.}= 143.61 oC (A5)

200 oC > 143.61 oC old. için kızgın faz durumundadır. A6 tablosuna gidip

$$v_1 = 0.53435 \frac{m^3}{kg}$$

v2 için:

P=400 kPa için T_{doyg.}= 143.61 oC (A5)

250 oC > 143.61 oC old. için kızgın faz durumundadır. A6 tablosuna gidip

$$v_2 = 0.59520 \frac{m^3}{kg}$$

$$W = P_o(V_2 - V_1) = P_o \cdot m \cdot (v_2 - v_1)$$

$$W = 400 \text{ kPa} \cdot 5 \text{ kg} \cdot (0.5920 - 0.53435) \frac{m^3}{kg} = 121.7 \text{ kPa} \cdot m^3 = 121.7 \text{ kJ}$$

2. yol:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Sisteme giren} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Sistemden çıkan} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Sistemin toplam} \\ \text{enerjisindeki değişim} \end{array} \right)$$

$$E_g - E_ç = \Delta U + \Delta \text{Kin.} + \Delta \text{Pot.}$$

ISI

ISI

iş

iş

kütle giriş

kütle çıkışı

$$Q - W_g = \Delta U$$

$$Q - p\Delta V = \Delta U \quad \text{ise ;}$$

$$Q = \Delta U + p\Delta V$$

$$Q = \Delta H$$

$$\Delta H - W_g = \Delta U \quad \text{ise; } W_g = \Delta H - \Delta U$$

P=400 kPa = 0.4 MPA , A6

T (oC)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)
200	2647.2	2860.9
250	2726.4	2964.5

$$Wg = \Delta H - \Delta U$$

$$\Delta H = m(h_2 - h_1)$$

$$\Delta U = m(u_2 - u_1)$$

$$\Delta H = 5\text{kg} \cdot (2964.5 - 2860.9) = 518 \text{ kJ}$$

$$\Delta U = 5 \text{ kg} (2726.4 - 2647.2) = 396 \text{ kJ}$$

$$Wg = p\Delta V = \Delta H - \Delta U = 518 - 396 = 122 \text{ kJ}$$

ÖRNEK

İyi yalıtılmış bir tankta 100 kPa basınçta 5 kg doymuş sıvı-buhar su karışımı bulunmaktadır. Başlangıçta toplam kütle için %75'i sıvı fazdadır. Tank içine yerleştirilen 110 Volt'luk bir hatta bağlanmış elektrik direnci açıldığında üzerinden 8 A akım geçmektedir. Tanktaki tüm sıvının buhar fazına geçebilmesi için gerekli olan süreyi (dk) hesaplayınız?

$$E_g - E_ç = \Delta U + \Delta \text{Kin.} + \Delta \text{Pot.}$$

ISI

ISI

iş

iş

kütle giriş

kütle çıkışı

$$W_e = \Delta U = m(u_2 - u_1)$$

$$V \cdot I \cdot t = m(u_2 - u_1)$$

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

%75 sıvı ise %25 buhardır. Dolayısıyla; $x = 0.25$

$P = 100$ kPa için (A5)

$$; \quad u_f = 417.40 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} ;$$

$$u_{fg} = 2088.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$u_1 = 417.40 + 0.25 * 2088.2 = 939.45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$u_2 = u_g = 2505.6 \frac{kJ}{kg} \quad (P=100 \text{ kPa için } A_5)$$

$$V.I.t = m(u_2 - u_1)$$

$$\frac{110 \text{ (Volt)}.8 \text{ (A)}.t \text{ (s)}.J.}{\text{(Volt.A.s)}} \frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}} = 5 \text{ kg} \cdot (2505.6 - 939.45) \frac{kJ}{kg}$$

$$t = 8898.6 \text{ s} = 148 \text{ dk}$$

ÖRNEK

Yalıtılmış bir piston-silindir düzeneğinde başlangıçta 175 kPa sabit basınçta 5 L **doygun sıvı su** bulunmaktadır. Silindir içinde bir **elektrikli ısıtıcı** ve bir **kariştirici** bulunmaktadır. Daha sonra su 45 dk süre ile bir taraftan kariştirilmakta diğer taraftan içinden 8A akım geçen ısıtıcı ile ısıtılmaktadır. Sabit basınçta gerçekleşen bu hal değişimi sırasında sıvının yarısı buharlaşmaktadır. Kariştirici tarafından da 400 kJ iş yapılmaktadır. Elektrik kaynağının potansiyelini bulunuz?

$$E_g - E_ç = \Delta U + \Delta \text{Kin.} + \Delta \text{Pot.}$$

$$\text{ISI} \quad \text{ISI}$$

$$\text{iş} \quad \text{iş}$$

$$\text{kütle giriş} \quad \text{kütle çıkışı}$$

$$W_e + W_{sh} - W_{genl.} = \Delta U$$

$$V \cdot I \cdot t + 400 - p \Delta V = \Delta U$$

$$V \cdot I \cdot t + 400 = \Delta U + p \Delta V = \Delta H = m(h_2 - h_1)$$

$$h_1 \text{ için: } P=175 \text{ kPa, doygun sıvı, } h_1=h_f = 487.01 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (\text{A5})$$

$$h_2 \text{ için: } h_2=h_f + x \cdot h_{fg} \quad h_f=487.01 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad ; \quad h_{fg} = 2215.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (\text{A5})$$

Yarısı buharlaştığına göre; $X=0.5$ (Son haldeki durum)

$$h_2 = 487.01 + 0.5 \cdot 2215.1 = 1593.56 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$m \text{ için: } v = v_f = 0.001057 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \quad (\text{A5}) \quad ; \quad m = \frac{V}{v} = \frac{5 \text{ L}}{0.001057 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 4.73 \text{ kg}$$

$$V \cdot I \cdot t + 400 = \Delta U + p \Delta V = \Delta H = m(h_2 - h_1)$$

$$\frac{V (\text{Volt}) \cdot 8 (\text{A}) \cdot 45 (\text{dk}) \cdot J}{(\text{Volt} \cdot \text{A} \cdot \text{s})} \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ dk}} \frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}} + 400 \text{ kJ} = 4.73 \text{ kg} \cdot (1593.56 - 487.01) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$V = 223.8 \text{ Volt}$$

ÖRNEK

30 L ısıtma yağı içeren elektrikli bir ısıtıcı 50 m³ hacminde bir odaya yerleştirilmiştir. Hem oda hem de ısıtıcı içindeki yağın başlangıç sıcaklıkları 10 °C'dir. Gücü 1.8 kW olan ısıtıcı açılmakta ve aynı zamanda odadan ısı kaybı 0.35 kJ/s olmaktadır. Belli bir süre sonunda oda sıcaklığı 20 °C ve ısıtıcı içindeki yağın sıcaklığı 50 °C olarak ölçülmüştür. Isıtma yağının yoğunluğu 950 kg/m³ ve özgül ısısı 2.2 kJ/kg°C dir. Odanın içine hava sızmadığını kabul ederek Termodinamiğin 1. Yasasını yazıp **ısıtıcının ne kadar süre açık kaldığını** hesaplayınız?

$$\begin{array}{l} E_g \\ \text{ISI} \\ \text{iş} \\ \text{kütle giriş} \end{array} - \begin{array}{l} E_ç \\ \text{ISI} \\ \text{iş} \\ \text{kütle çıkışı} \end{array} = \Delta U + \Delta \text{Kin.} + \Delta \text{Pot.}$$

SİSTEM : ODA **Welektrik – Qkayıp = ΔU oda + ΔU yağ**

Welektrik – Qkayıp = ΔU oda + ΔU yağ

$$(1.8 \text{ kW} - 0.35 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}) t(\text{s}) = m(\text{odadaki hava}).C_p.(T_2 - T_1) + m(\text{yağ}).C_p.(T_2 - T_1)$$

$$m(\text{hava}) \text{ için : } P.V = m.R.T \quad R(\text{hava}) = 0.287 \frac{\text{kPa.m}^3}{\text{kg.K}} \quad (\text{A2})$$

$$m(\text{hava}) = \frac{P.V}{R.T} = \frac{100 \text{ kPa}.50 \text{ m}^3}{0.287 \frac{\text{kPa.m}^3}{\text{kg.K}}.283 \text{ K}} = 62.32 \text{ kg hava}$$

$$C_p(\text{hava}) = 0.718 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.oC}} \quad (\text{A2}) \quad \Delta T = 20 - 10 = 10 \text{ oC}$$

$$m(\text{yağ}) \text{ için: } 30 \text{ L} \cdot \frac{950 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 28.5 \text{ kg yağ} \quad ; \quad C_p(\text{yağ}) = 2.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.oC}}$$

$$\Delta T = 50 - 10 = 40 \text{ oC}$$

$$(1.8 \text{ kW} - 0.35 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}) t(\text{s}) = 62.32 * 0.718 * (10) + 28.5 * 2.2 * (40)$$

$$t = 2040 \text{ s} = 34 \text{ dk}$$

ÖRNEK

Bir piston-silindir düzeneğinde başlangıçta 400 kPa basınç ve 27 oC sıcaklıkta 0.5 m^3 azot gazı vardır. Daha sonra düzenek içindeki elektrikli ısıtıcı çalıştırılarak 5 dk süreyle 2 A akım geçiriliyor. Isıtıcı 120 V'luk kaynağa bağlıdır. Hal değişimi sırasında azot gazı genişlemekte ve çevreye 2800 J ısı geçişi olmaktadır. Azot gazının son sıcaklığını bulunuz?

$$E_g - E_ç = \Delta U + \Delta \text{Kin.} + \Delta \text{Pot.}$$

$$\text{ISI} \quad \text{ISI}$$

$$\text{iş} \quad \text{iş}$$

$$\text{kütle giriş} \quad \text{kütle çıkışı}$$

$$W_e - Q_{\text{çıkan}} - W_{\text{genl.}} = \Delta U$$

$$W_e - Q_{\text{çıkan}} = \Delta U + p\Delta V = \Delta H = m(h_2 - h_1) = m \cdot C_p \cdot \Delta T = m \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1)$$

$$m \text{ için : } m(\text{azot}) = \frac{P.V}{R.T} = \frac{400 \text{ kPa} \cdot 0.5 \text{ m}^3}{0.297 \frac{\text{kPa} \cdot \text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 300 \text{ K}} = 2.244 \text{ kg ;}$$

$$CP = 1.039 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} \quad (\text{A2})$$

$$\frac{120 \text{ (Volt)} \cdot 2 \text{ (A)} \cdot 5 \text{ (dk)} \cdot \text{J} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ dk}} \cdot \frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}}}{\text{(Volt} \cdot \text{A} \cdot \text{s)}} + \frac{2800 \text{ J kJ}}{1000 \text{ J}} = 2.244 * 1.039 * (T_2 - 27)$$

$$T_2 = 56.7 \text{ °C}$$

ÖDEV

2 m³ hacminde 100 kPa basınç ve 10 oC sıcaklığında olan tamamıyla yalıtılmış hava dolu bir odanın içerisine, kapalı bir kap içinde 50 L kızgın su buharı konulmaktadır. Başlangıçta kızgın su buharının basıncı 500 kPa ve sıcaklığı 200 oC'dir. Kızgın su ısını bu odaya vermekte ve sonunda basıncı oda basıncına düşmektedir. Buna göre;

a) **Kızgın su buharının odaya verdiği ısıyı bulunuz?** Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilebilir.

b) **Odanın son durumdaki sıcaklığını bulunuz?**

(Hava ideal gaz olarak kabul edilebilir)

5.Hafta (Özet)

- *Piston silindir düzeneğinde hapsedilmiş olan buhar tarafından yapılan işi bulunuz?
- *Kapalı bir tank içinde bulunan elektrikli ısıtıcı ile ısıtılan sıvının tamamının buhar faza geçebilmesi için gerekli olan süreyi bulunuz?
- *Akım ve süre değerleri bilinen elektrik işi ile doygun sıvının yarısının buharlaşması için potansiyel fark (V) değeri ne olmalıdır?
- *Isıtıcı odayı ve içindeki yağın sıcaklığını artırmaktaydı. Ne kadar süre ile açık kaldığını bulunuz?
- *Azot gazının son sıcaklığını bulunuz? Not: Azot gazı için tablomuz yok.
- *ÖDEV

5. HAFTA (ÖZET)

KAPALI SİSTEMLERİN ENERJİ ANALİZİ YAPILIRKEN

- *Sisteme ait T1Y yazılır.
- *İstenen bilginin hesaplanabilmesi için diğer bilinmeyenler bulunur.
- *Sistemdeki akışkanın ilk ve son hal durumu (faz durumu) bilinen kriterlerce değerlendirilerek ortaya konulur.
- *İlk ve son faz durumlarına ait ilgili tablo kullanılarak gerekli olan sayısal değerler belirlenir.
- *Bir bilinmeyenli bir denklemle istenen değer hesaplanır.

5. Hafta için verilen ödev sorusunun çözümü

2 m³ hacminde 100 kPa basınç ve 10 oC sıcaklığında olan tamamıyla yalıtılmış hava dolu bir odanın içerisine, kapalı bir kap içinde 50 L kızgın su buharı konulmaktadır. Başlangıçta kızgın su buharının basıncı 500 kPa ve sıcaklığı 200 oC'dir. Kızgın su ısıasını bu odaya vermekte ve sonunda basıncı oda basıncına düşmektedir. Buna göre;

a) **Kızgın su buharının odaya verdiği ısıyı bulunuz?** Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilebilir.

b) **Odanın son durumdaki sıcaklığını bulunuz?**
(Hava ideal gaz olarak kabul edilebilir)

KIZGIN SU BUHARI İÇİN

Başlangıçta; 500 kPa ve 200 oC için

$$v_1 = 0.42503 \text{ m}^3/\text{kg}, \quad u_{1k} = u_1 = 2643.3 \text{ kJ/kg} \quad (\text{A6})$$

$$m_{su} = 50 \text{ L} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} * \frac{1}{0.42503 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} = 0.117 \text{ kg}$$

T1Y nı su için yazalım: $E_g - E_ç = \Delta U + \Delta \text{Kin.E} + \Delta \text{Pot.E.}$

$$-Q = \Delta U = m(u_{son} - u_{ilk}) = m(u_2 - u_1)$$

Isıyı yani Q değerini bulmak için u_2 değerine ihtiyacımız var.

u_2 değerini bulabilmek için son haldeki faz durumuna ihtiyacımız var.

Son haldeki faz durumunu bulalım.

$$P = 100 \text{ kPa için} \quad v_f = 0.001043 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \text{ve} \quad v_g = 1.6941 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Sistemde özgül hacim daima sabit kalır (ne kütle girişi çıkışı var, ne de hacim değişimi var)

$$v_1 = 0.42503 \text{ m}^3/\text{kg} = v_2$$

$0.001043 \text{ m}^3/\text{kg} < 0.42503 \text{ m}^3/\text{kg} < 1.6941 \text{ m}^3/\text{kg}$ old. için ,
doğun sıvı-buhar karışımı haline gelmiştir.

$$u_2 = u_f + x \cdot u_{fg} \quad , \quad u_f = 417.4 \text{ kJ/kg} \quad , \quad u_{fg} = 2088.2 \text{ kJ/kg} \quad , \quad x = ?$$

$$x = \frac{v_{ort.} - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.42503 - 0.001043}{1.6941 - 0.001043} = 0.25$$

$$u_2 = 417.4 + 0.25 \cdot 2088.2 = 940.3 \text{ kJ/kg}$$

$$-Q = \Delta U = m(u_{son} - u_{ilk}) = m(u_2 - u_1) = 0.117 \text{ kg}(940.3 - 2643.3) = -199.24 \text{ kJ}$$

$$Q = 199.24 \text{ kJ}$$

b) T1Y nı odadaki hava için yazalım:

$$E_g - E_ç = \Delta U + \Delta \text{Kin.E} + \Delta \text{Pot.E.}$$

$$Q = \Delta U = mh(u_{\text{son}} - u_{\text{ilk}}) = mh(u_2 - u_1) = m \cdot C_v \cdot (T_2 - T_1)$$

Hava ideal gaz olarak kabul edilmektedir.

$$PV = mRT \quad \text{ise ; } mh_{\text{hava}} = \frac{P V}{R T} \quad R_{\text{hava}} = 0.287 \text{ kJ/kgK (A2)}$$

$$mh_{\text{hava}} = \frac{P V}{R T} = \frac{100 \text{ kPa} * 2 \text{ m}^3}{0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} * (10 + 273) \text{ K}} = 2.462 \text{ kg hava}$$

$$C_v(\text{hava}) = 0.718 \text{ kJ/kgK (A2)}$$

$$199.24 = 2.462 \text{ kg} * (0.718 \text{ kJ/kgK}) * (T_2 - 10)$$

$$T_2 = 122 \text{ oC}$$

ÖRNEK

Sabit hacimli, yalıtılmış, bir kaptaki başlangıçta 27 °C sıcaklık, 350 kPa basınçta 0.7 kg helyum bulunmaktadır. Kap içindeki helyum 30 dk süre ile 0.015 kW gücünde döner bir kanatla karıştırılmaktadır. Son halde helyum gazının sıcaklığını bulunuz?

$$E_g - E_ç = \Delta U + \Delta \text{Kin.} + \Delta \text{Pot.}$$

$$\text{ISI} - \text{ISI}$$

$$\text{iş} - \text{iş}$$

$$\text{kütle giriş} - \text{kütle çıkışı}$$

$$C_v(\text{He}) = 3.1156 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} \quad (\text{A2})$$

$$W_{\text{sh}} = \Delta U = m(u_2 - u_1) = m \cdot C_v \cdot (T_2 - T_1)$$

$$0.015 \text{ kW} \cdot \frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kW s}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ dk}} \cdot 30 \text{ dk} = 0.7 \text{ kg} \cdot 3.1156 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} \cdot (T_2 - 27) \text{ K}$$

$$T_2 = 312.4 \text{ K} = 39.4 \text{ °C}$$

ÖRNEK

Bir piston-silindir düzeneğinde başlangıçta 300 kPa basınçta **25 g** doymuş su buharı bulunmaktadır. Daha sonra silindir içindeki elektrikli ısıtıcı çalıştırılmakta ve 5 dk süresince ısıtıcıdan 120 Volt kaynaktan sağlanan 0.2 A'lık akım geçmektedir. Bu süre içinde silindirden çevreye **3.7 kJ** ısı geçişi olmaktadır. Basıncın sabit kalması için sistem bir miktar genişleme işi yapmaktadır. Sistemin **son haldeki sıcaklığını** bulunuz?

$$E_g - E_ç = \Delta U + \Delta \text{Kin.} + \Delta \text{Pot.}$$

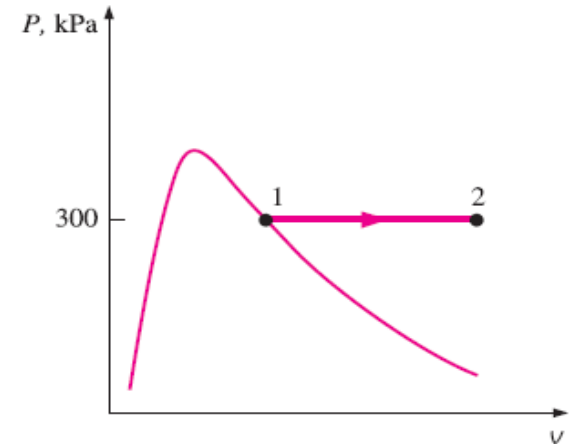
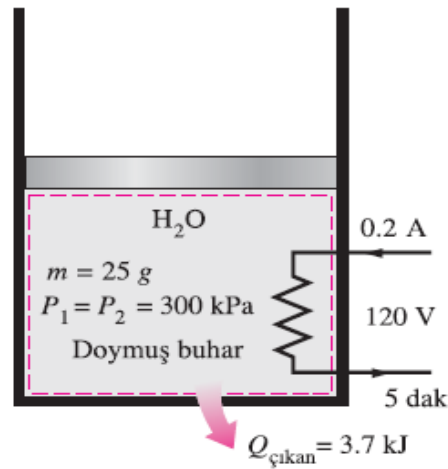
ISI
iş
kütle giriş

ISI
iş
kütle çıkışı

$$W_e - Q_{\text{çıkan}} - W_{\text{genl.}} = \Delta U$$

$$W_e - Q_{\text{çıkan}} - p\Delta V = \Delta U$$

$$W_e - Q_{\text{çıkan}} = p\Delta V + \Delta U = \Delta H = m(h_2 - h_1)$$



$$W_e - Q_{\text{çıkan}} = m (h_2 - h_1)$$

$$h_1 = h_g = 2724.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (P=300 \text{ kPa için , A5)}$$

$$\frac{120 \text{ (Volt)}.0.2 \text{ (A)}.5 \text{ (dk)}.J.}{\text{(Volt.A.s)}} \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ dk}} \frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}} - 3.7 \text{ kJ} = 0.2 \text{ kg}^* (h_2 - 2724.9) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$h_2 = 2864.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ olarak hesaplanır. Sıcaklık sorulduğuna göre;

$P=300 \text{ kPa}$, $h=2864.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ olan sıcaklık yaklaşık olarak 200 oC dir. (A6)

NOT: $P=300 \text{ kPa}$ için $T_{\text{doyg.}} = 135.52 \text{ oC}$ dir. Doymuş buhar ısıldığına göre son halde kızgın buhar haline geçmiştir. $200 \text{ oC} > 135.52 \text{ oC}$

ÖRNEK

Sabit hacimli kapalı bir kap metal bir perde ile 2 eşit hacimli bölmeye ayrılmıştır. Başlangıçta bölmelerden birinde 200 kPa basınç ve 25 oC sıcaklıkta 5 kg su bulunmaktadır. Diğer bölme de vakum vardır. Daha sonra perde kaldırılmakta ve su kabın tüm hacmini doldurmaktadır. Çevreden olan ısı alışverişi sonucu su bir süre sonra yeniden 25 oC sıcaklığa gelmektedir.

a) Kabın hacmini , b) Son basıncı , Bu hal değişimi sırasında ısı geçişini bul.?

$$a) v_1 = v_f = 0.001003 \frac{m^3}{kg} = 0.001 \frac{m^3}{kg} \quad (A4)$$

$$V_1 = m \cdot v_1 = 5 \text{ kg} \cdot 0.001 \frac{m^3}{kg} = 0.005 m^3$$

$$V_{\text{tank}} = 0.005 * 2 = 0.01 m^3$$

$$b) v_2 = \frac{V_2}{m} = \frac{0.01}{5} = 0.002 \frac{m^3}{kg}$$

$$v_f = 0.001 \frac{m^3}{kg} \quad \text{ve} \quad v_g = 43.340 \frac{m^3}{kg}$$

$$0.001 < 0.002 < 43.340$$

$0.001 < 0.002 < 43.340$ olduğuna göre;
 son durumda doygun sıvı – buhar karışımı halindedir.
 O halde $P = P_{\text{doyg.}} = 3.1698 \text{ kPa}$ ($T = 25 \text{ oC}$ için, A4)

$$E_g - E_{\text{ç}} = \Delta U + \Delta \text{Kin.} + \Delta \text{Pot.}$$

ISI ISI

iş iş

kütle giriş kütle çıkışı

$$Q_{\text{giren}} = \Delta U = m(u_2 - u_1)$$

$$u_1 = u_f = 104.83 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (\text{A4})$$

$$u_2 = u_f + x \cdot u_{fg} \quad ; \quad u_f = 104.83 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad u_{fg} = 2304.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad x = ?$$

$$x = \frac{v_2 - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.002 - 0.001}{43.34 - 0.001} = 2.3 \times 10^{-5}$$

$$u_2 = 104.83 + (2.3 \times 10^{-5})(2304.3) = 104.88 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_{\text{giren}} = \Delta U = m(u_2 - u_1) = 5 \text{ kg} (104.88 - 104.83) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 0.25 \text{ kJ}$$

ÖRNEK

100 oC sıcaklık ve 15 Mpa basınçtaki suyun entalpisini

a) Sıkıştırılmış sıvı tablosunu kullanarak

b) Aynı sıcaklıkta doymuş sıvı kabul ederek tabloyu kullanarak

c) $h(P,T) = h_f(T) + v_f(T).(P-P_{\text{doyg.}}(T))$ ifadesini kullanarak bul.?

a) Tablo A7 : $P=15 \text{ Mpa}$ ve $T=100 \text{ oC}$ için $h = 430.39 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

b) $T=100 \text{ oC}$ için $h = h_f = 419.17 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

c) $h(P,T) = h_f(T) + v_f(T).(P-P_{\text{doyg.}}(T))$

$$h(P,T) = 419.17 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 0.001043 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot (15000 - 101.42) \text{kPa} = 434.07 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Not : $\text{kPa} \cdot \text{m}^3 = \text{kJ}$

ÖRNEK

Kütlesi 50 kg olan 80 oC sıcaklığındaki demir külçe, içinde 25 oC sıcaklıkta 0.5 m³ su bulunan yalıtılmış bir kap içine konulmaktadır. Isıl denge sağlanınca sıcaklık ne olur? $C(\text{demir}) = 0.45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg oC}}$ (A2); $C(\text{su}) = 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg oC}}$ (A2)

$$E_g - E_ç = \Delta U + \Delta \text{Kin.} + \Delta \text{Pot.}$$

ISI ISI

iş iş

kütle giriş kütle çıkışı

$$0 - 0 = \Delta U = \Delta U(\text{demir külçe}) + \Delta U(\text{su})$$

$$m.C. \Delta T (\text{demir külçe}) + m.C. \Delta T (\text{su}) = 0$$

$$V_{\text{su}} = 0.001003 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, m_{\text{su}} = 0.5 \text{ m}^3 / 0.001003 = 500 \text{ kg su}$$

$$50 * 0.45 * (80 - T) + 500 * 4.18 * (T - 25)$$

$$T = 25.6 \text{ oC}$$

Bölüm 5

AÇIK SİSTEMLER İÇİN KÜTLE VE ENERJİ ÇÖZÜMLEMESİ

Amaçlar

- Kütlenin korunumu ilkesi sürekli ve sürekli olmayan akış sistemlerini içeren çeşitli sistemlere uygulanacaktır.
- Termodinamiğin birinci kanununu enerjinin korunumu ilkesi olarak açık sistemlere uygulanacaktır.
- Akışkan akımı ile kontrol yüzeyinden taşınan akışkanın iç enerji, akış işi, kinetik enerji ve potansiyel enerjinin toplamları olan enerji tanımlanacak ve iç enerji ve akış işi bileşimlerinin entalpi özeliği ile ilgilendirilecektir.
- Yaygın olarak kullanılan lüleler, kompresörler, türbinler, kısılma vanaları, karıştırıcılar ve ısı değıştircileri gibi sürekli akış sistem problemleri çözülecektir.
- Enerjinin korunumu sürekli olmayan akış sistemlerine uygulanacak ve özellikle sıkça karşılaşılan basınçlı kapların doldurulması ve boşaltılması gibi düzgün akışlı açık sistem modeli üzerinde durulacaktır.

KARŞILAŞTIRMA

KAPALI SİSTEMLER

kütle, m, kg

iç enerji, ΔU , $\frac{kJ}{kg}$

$$e = \Delta U + \frac{V^2}{2} + gz \quad \left(\frac{kJ}{kg}\right)$$

T1Y

$$E_g - E_{ç} = \Delta U + \frac{V^2}{2} + gz \quad \left(\frac{kJ}{kg}\right)$$

T2Y

$$S \quad \left(\frac{kJ}{kgK}\right)$$

AÇIK SİSTEMLER

zaman, t, s

Kütlesel debi, \dot{m} , $\frac{kg}{s}$

Entalpi, ΔH , $\frac{kJ}{kg}$

$$\Theta = \Delta H + \frac{V^2}{2} + gZ \quad \left(\frac{kJ}{kg}\right)$$

T1Y

$$Q_g + W_g + \dot{m}(h_g + \frac{V_g^2}{2} + g.z_g) =$$

$$Q_{ç} + W_{ç} + \dot{m}(h_{ç} + \frac{V_{ç}^2}{2} + g.z_{ç}) \quad \left(\frac{kJ}{s}\right)$$

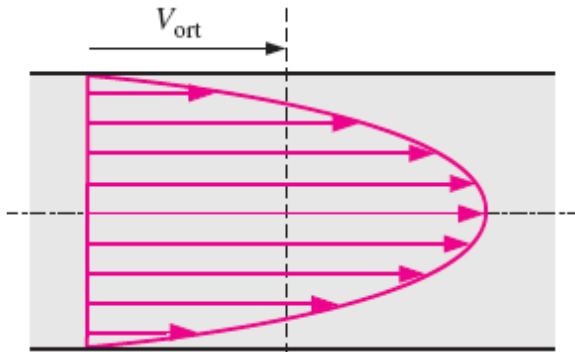
T2Y

$$S \quad (kJ/s)$$

Kütlesel Debi ve Hacimsel Debi

$$\dot{m} = \rho V_{\text{ort}} A_c \quad (\text{kg/s})$$

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = \frac{\dot{V}}{v}$$

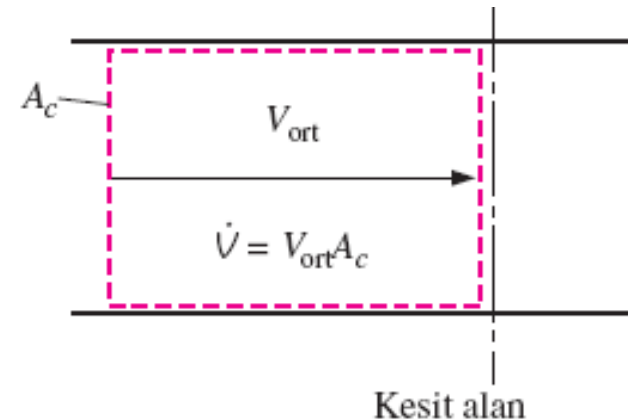


Boru içindeki ortalama hız V_{ort} kesit alanı boyunca olan hızın ortalamasıdır.

Kütlesel debi

Hacimsel debi = $V \cdot A$

$$\dot{V} = \int_{A_c} V_n dA_c = V_{\text{ort}} A_c = V A_c \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

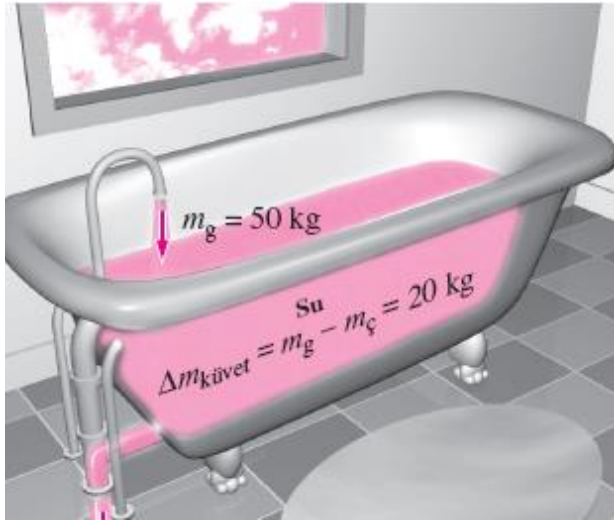


Hacimsel debi, kesitten birim zamanda geçen akışkan hacmidir.

Kütlenin Korunumu İlkesi

Bir kontrol hacmi için kütlenin korunumu ilkesi: Bir kontrol hacmine veya kontrol hacminden Δt zaman aralığında olan kütle geçişi, aynı zaman aralığında kontrol hacmindeki toplam kütledeki değişime (azalma veya artma) eşittir.

$$\left(\begin{array}{c} KH' \text{ ne giren} \\ \text{toplam kütle} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} KH' \text{ den çıkan} \\ \text{toplam kütle} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} KH \text{ içinde toplam} \\ \text{kütle değişimi} \end{array} \right)$$



$$m_g - m_ç = \Delta m_{KH} \quad (\text{kg})$$

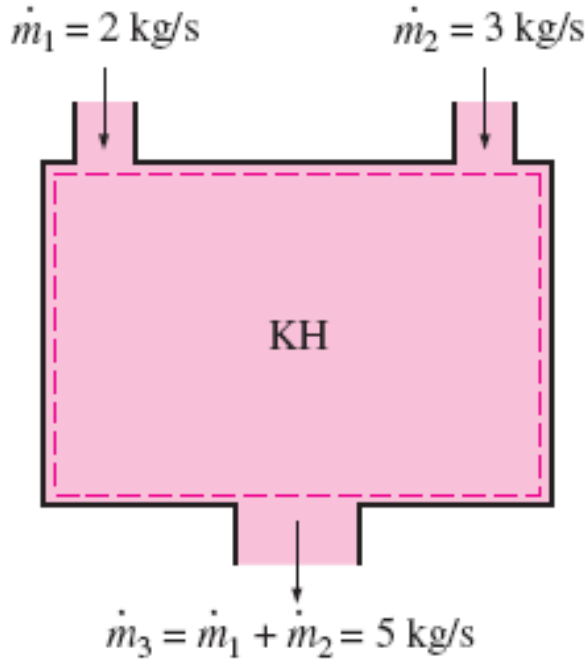
$$\dot{m}_g - \dot{m}_ç = dm_{KH}/dt \quad (\text{kg/s})$$

Sıradan bir banyo küveti için kütlenin korunumu ilkesi.

Sürekli Akışlı Sistemlerde Kütle Dengesi

Sürekli akışlı açık sistemde, kontrol hacmi içindeki toplam kütle zamanla değişmez ($m_{KH} = \text{sabit}$).

Bu durumda, kütle korunumu ilkesi uyarınca **kontrol hacmine giren toplam kütle, kontrol hacminden çıkan toplam kütleyle eşit olması gerekir**



Sürekli akışlı açık sistemlerde, bir zaman süresince sisteme giren veya çıkan kütleden çok, *kütle debisi* m önem kazanır.

$$\sum_g \dot{m} = \sum_s \dot{m} \quad (\text{kg/s})$$

Çok girişli ve çıkışlı

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \rightarrow \rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$$

Tek akışlı

Lüle, türbin, kompresör, pompa gibi mühendislik uygulamalarının birçoğunda, sadece bir akış, bu nedenle de bir giriş ve bir çıkış söz konusudur.

İki giriş ve bir çıkışlı sürekli akışlı sistem için kütle korunumu ilkesi

Özel Durum: Sıkıştırılmaz Akışlar

Kütlenin korunumu bağıntısı sıkıştırılmaz akışkanlarda, genellikle sıvılarda basitleştirilebilir.



$$\sum_g \dot{V} = \sum_{\xi} \dot{V} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Sürekli,
sıkıştırılmaz akış

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 \rightarrow V_1 A_1 = V_2 A_2$$

Sürekli, sıkıştırılmaz
akış (tek akışlı)

“Hacmin korunumu ilkesi” gibi bir şey olamaz.

Bununla birlikte, sıvıların sürekli akışları için, hacimsel debi, kütle debisi gibi sabit kalabilir çünkü sıvılar genelde sıkıştırılmaz maddelerdir.

Sürekli akışlı açık bir sistemde giren ve çıkan hacimsel debilerin eşit olması gerekmez.

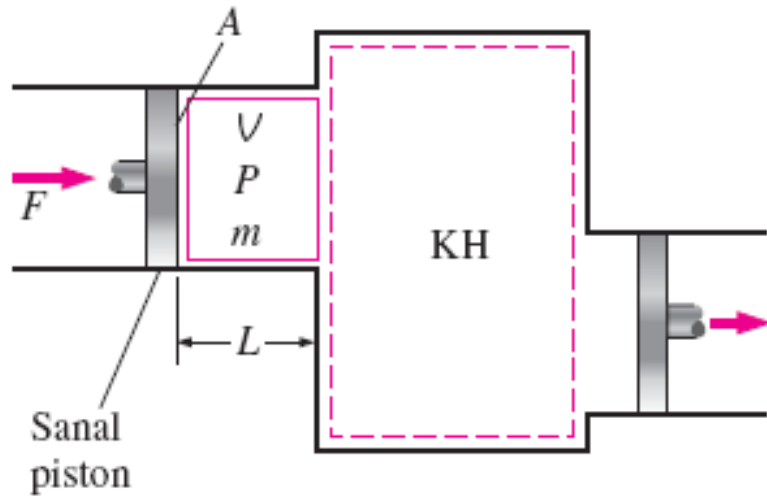
AKIŞ İŞİ VE AKIŞKANIN ENERJİSİ

Akış işi veya akış enerjisi: İş veya Enerji kütlenin kontrol hacmine girebilmesi veya kontrol hacminden çıkabilmesi için gereklidir. Bu iş kontrol hacminde akış olması için gereklidir.

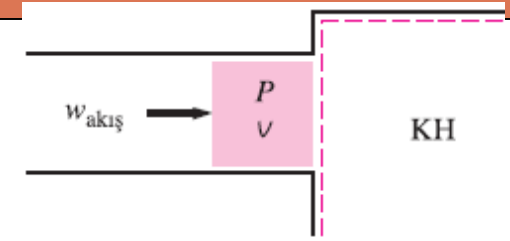
$$F = PA$$

$$W_{\text{akış}} = FL = PAL = PV \quad (\text{kJ})$$

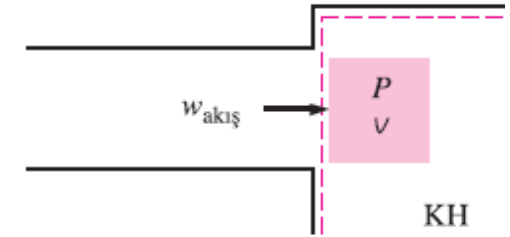
$$w_{\text{akış}} = PV \quad (\text{kJ/kg})$$



Akış işinin gösterimi.



(a) Girişten önce



(b) Girişten sonra

İvme olmaksızın pistonun akışkana uyguladığı kuvvet akışkanın piston üzerine etkidiği kuvvete eşittir.

Akışkanın Toplam Enerjisi

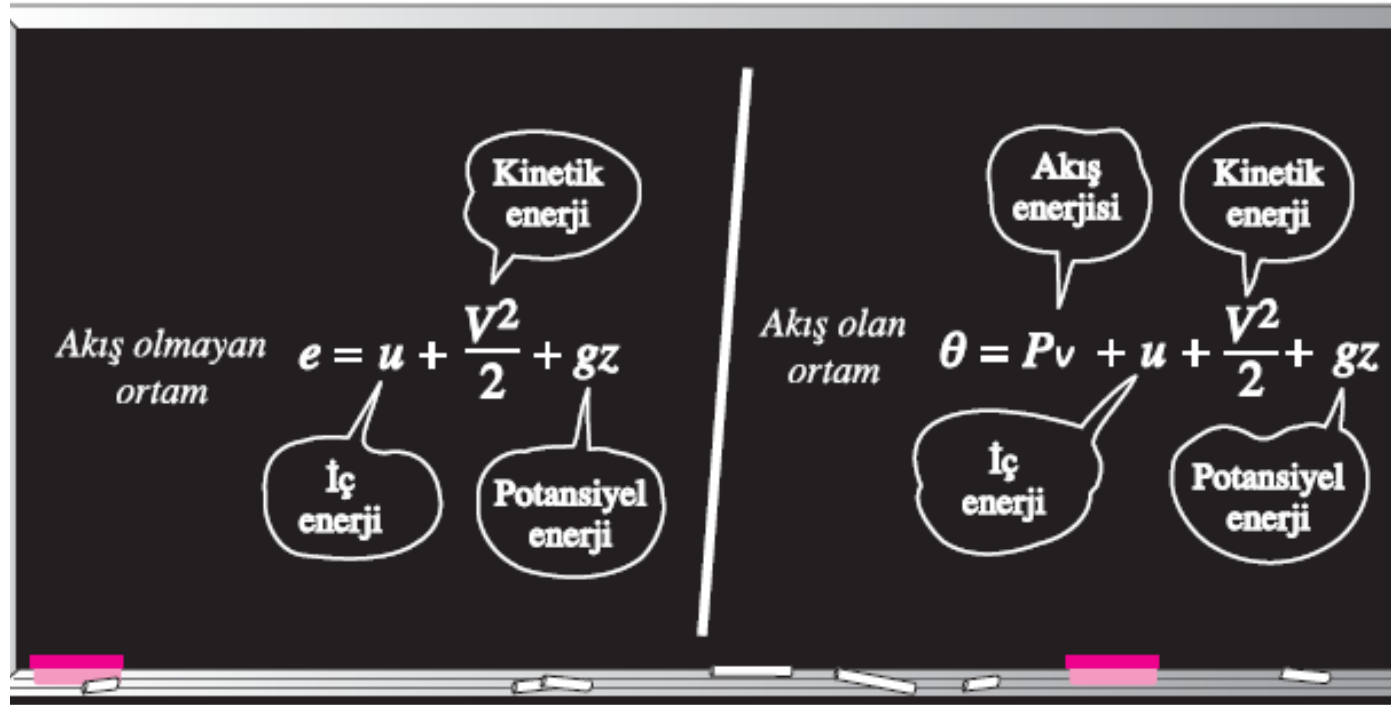
$$e = u + ke + pe = u + \frac{V^2}{2} + gz \quad (\text{kJ/kg})$$

$$\theta = Pv + e = Pv + (u + ke + pe) \quad h = u + Pv$$

$$\theta = h + ke + pe = h + \frac{V^2}{2} + gz \quad (\text{kJ/kg})$$

Akış enerjisi otomatik olarak entalpi tarafından kapsanır. Aslında, bu entalpinin özelliklerini tanımlamak için başlıca nedendir.

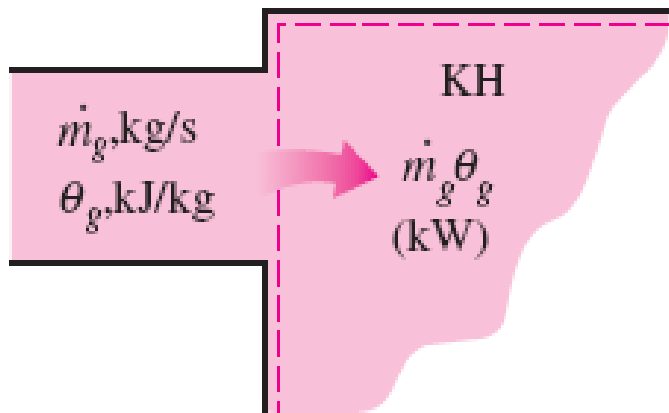
Akışın olmadığı bir ortamda toplam enerji üç terimden, akış olan bir ortamda ise dört terimden oluşur.



Kütle ile Enerji Aktarımı

Aktarılan Enerji Miktarı: $E_{\text{kütle}} = m\theta = m\left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right)$ (kJ)

Aktarılan Enerji Oranı $\dot{E}_{\text{kütle}} = \dot{m}\theta = \dot{m}\left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right)$ (kW)



Akışkan kontrol hacminden geçerken kinetik ve potansiyel enerjilerindeki değişim göz ardı edilebilir.

$$E_{\text{mass}} = mh \quad \dot{E}_{\text{mass}} = \dot{m}h$$

Kütlenin özellikleri her bir giriş yada çıkışta giriş kesiti üzerindeki gibi zamanla değişir.

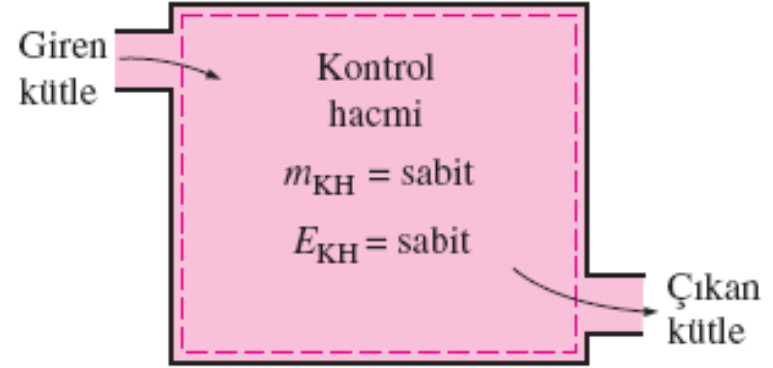
$\dot{m}_g\theta_g$ terimi kontrol hacmine birim zamanda kütle ile aktarılan enerjiyi gösterir.

SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEMLERİN ENERJİ ANALİZLERİ

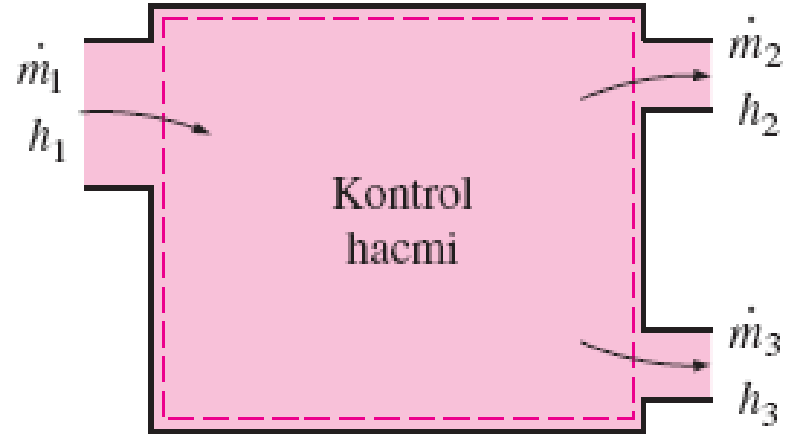


Güç santralleri gibi çoğu mühendislik sistemleri sürekli şartlar altında çalışırlar.

Sürekli akış koşullarında, kontrol hacminin kütlesi ve enerjisi zaman içinde değişmez.



Sürekli akışlı açık sistemde özellikler kontrol hacmi içinde değişebilir, fakat zamanla değişmezler.



6.HAFTA ÖZET-KARŞILAŞTIRMA

KAPALI SİSTEMLER

kütle, m, kg

iç enerji, ΔU , $\frac{kJ}{kg}$

$$e = \Delta U + \frac{V^2}{2} + gz \quad \left(\frac{kJ}{kg}\right)$$

T1Y

$$E_g - E_{ç} = \Delta U + \frac{V^2}{2} + gz \quad \left(\frac{kJ}{kg}\right)$$

T2Y

$$S \quad \left(\frac{kJ}{kgK}\right)$$

AÇIK SİSTEMLER

zaman, t, s

Kütlesel debi, \dot{m} , $\frac{kg}{s}$

Entalpi, ΔH , $\frac{kJ}{kg}$

$$\Theta = \Delta H + \frac{V^2}{2} + gZ \quad \left(\frac{kJ}{kg}\right)$$

T1Y

$$Q_g + W_g + \dot{m} \left(h_g + \frac{V_g^2}{2} + g \cdot z_g \right) =$$

$$Q_{ç} + W_{ç} + \dot{m} \left(h_{ç} + \frac{V_{ç}^2}{2} + g \cdot z_{ç} \right) \quad \left(\frac{kJ}{s}\right)$$

T2Y

$$S \quad (kJ/s)$$

Akışkanın Toplam Enerjisi

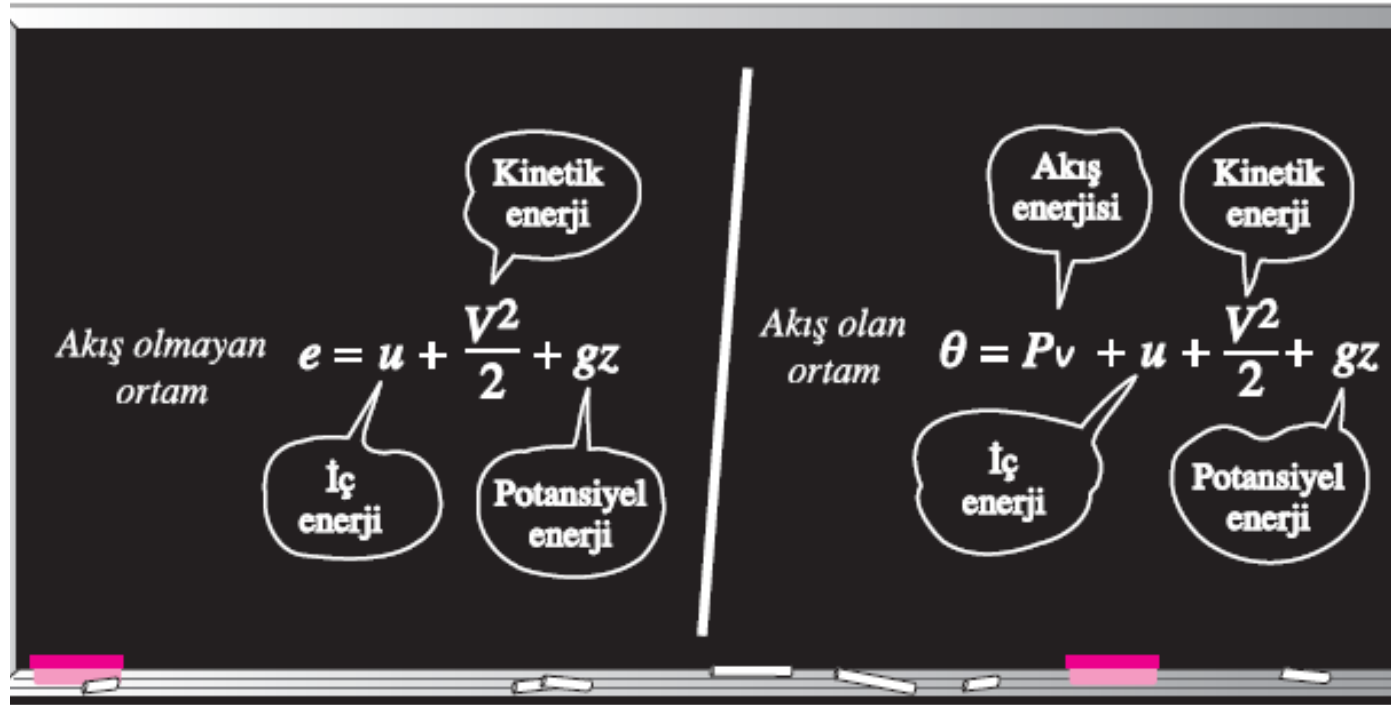
$$e = u + ke + pe = u + \frac{V^2}{2} + gz \quad (\text{kJ/kg})$$

$$\theta = Pv + e = Pv + (u + ke + pe) \quad h = u + Pv$$

$$\theta = h + ke + pe = h + \frac{V^2}{2} + gz \quad (\text{kJ/kg})$$

Akış enerjisi otomatik olarak entalpi tarafından kapsanır. Aslında, bu entalpinin özelliklerini tanımlamak için başlıca nedendir.

Akışın olmadığı bir ortamda toplam enerji üç terimden, akış olan bir ortamda ise dört terimden oluşur.



Sürekli akışlı sistemler için Kütle ve Enerji dengesi

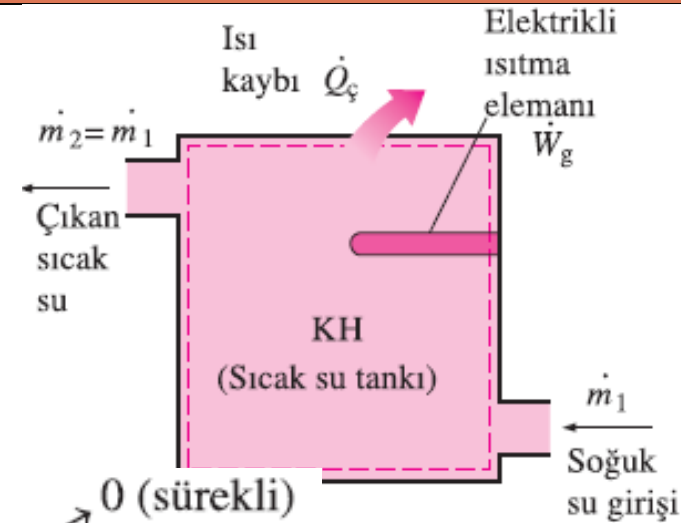
$$\sum_g \dot{m} = \sum_{\varphi} \dot{m} \quad (\text{kg/s})$$

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

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$$

Kütle dengesi

Sürekli akışlı bir su ısıtıcısı



Enerji dengesi

$$\underbrace{\dot{E}_g - \dot{E}_{\varphi}}_{\text{Birim zamanda; ısı, iş ve kütle ile olan enerji geçişi}} = \underbrace{\frac{dE_{\text{sistem}}}{dt}}_{\text{Birim zamanda; sistemin iç, kinetik, potansiyel vb. enerjilerindeki değişim}} \xrightarrow{0 \text{ (sürekli)}} = 0$$

Enerjinin Korunumu:

$$\underbrace{\dot{E}_g}_{\text{Birim zamanda; ısı, iş ve kütle ile KH'ne giren enerji}} = \underbrace{\dot{E}_{\varphi}}_{\text{Birim zamanda; ısı, iş ve kütle ile KH'den çıkan enerji}} \quad (\text{kW})$$

$$\dot{Q}_g + \dot{W}_g + \underbrace{\sum_g \dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right)}_{\text{her giriş için}} = \dot{Q}_{\varphi} + \dot{W}_{\varphi} + \underbrace{\sum_{\varphi} \dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right)}_{\text{her çıkış için}}$$

Zamanla Değişmeyen Sürekli Akışlı Sistemler (Kararlı Hal Sistemleri) İçin Genel Enerji Denklemi (GED)

$$Q_g + W_g + \dot{m}(hg + \frac{Vg^2}{2} + g.zg) = Q_ç + W_ç + \dot{m}(hç + \frac{Vç^2}{2} + g.zç)$$

$$Q_g + W_g + \dot{m}(h1 + \frac{V1^2}{2} + g.z1) = Q_ç + W_ç + \dot{m}(h2 + \frac{V2^2}{2} + g.z2)$$

Q_g = Sisteme (yani akışkana) **ısı** yolu ile giren enerji (kJ/s)

W_g = Sisteme (yani akışkana) **iş** yolu ile giren enerji (kJ/s)

\dot{m} = Akışkanın kütleli debisi ($\frac{kg}{s}$)

$hg = h1$ = Akışkanın girişteki (yani başlangıçtaki) entalpi değeri ($\frac{kJ}{kg}$) (İlgili Tablo)

$Vg = V1$ = Akışkanın girişteki (yani başlangıçtaki) hızı ($\frac{m}{s}$)

$\frac{V1^2}{2}$ = Akışkanın girişte hızından dolayı sahip olduğu kinetik enerji ($\frac{m^2}{s^2}$)

$g.zg = g.z1$ = Akışkanın girişte (yani başlangıçta) sahip olduğu potansiyel enerji ($\frac{m^2}{s^2}$)

Zamanla Değişmeyen Sürekli Akışlı Sistemler (Kararlı Hal Sistemleri) İçin Genel Enerji Denklemi (GED)

$$Q_g + W_g + \dot{m}(hg + \frac{Vg^2}{2} + g.zg) = Q_{\dot{c}} + W_{\dot{c}} + \dot{m}(h_{\dot{c}} + \frac{V_{\dot{c}}^2}{2} + g.z_{\dot{c}})$$

$$Q_g + W_g + \dot{m}(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + g.z_1) = Q_{\dot{c}} + W_{\dot{c}} + \dot{m}(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + g.z_2)$$

$Q_{\dot{c}}$ = Sistemden (yani akışkandan) **ısı** yolu ile uzaklaşan enerji (kJ/s)

$W_{\dot{c}}$ = Sistemden (yani akışkan tarafından) **iş** yolu ile uzaklaşan enerji (kJ/s)

\dot{m} = Akışkanın kütlelesel debisi ($\frac{kg}{s}$)

$h_{\dot{c}} = h_2$ = Akışkanın çıkıştaki (yani son durumdaki) entalpi değeri ($\frac{kJ}{kg}$) (İlgili tablo)

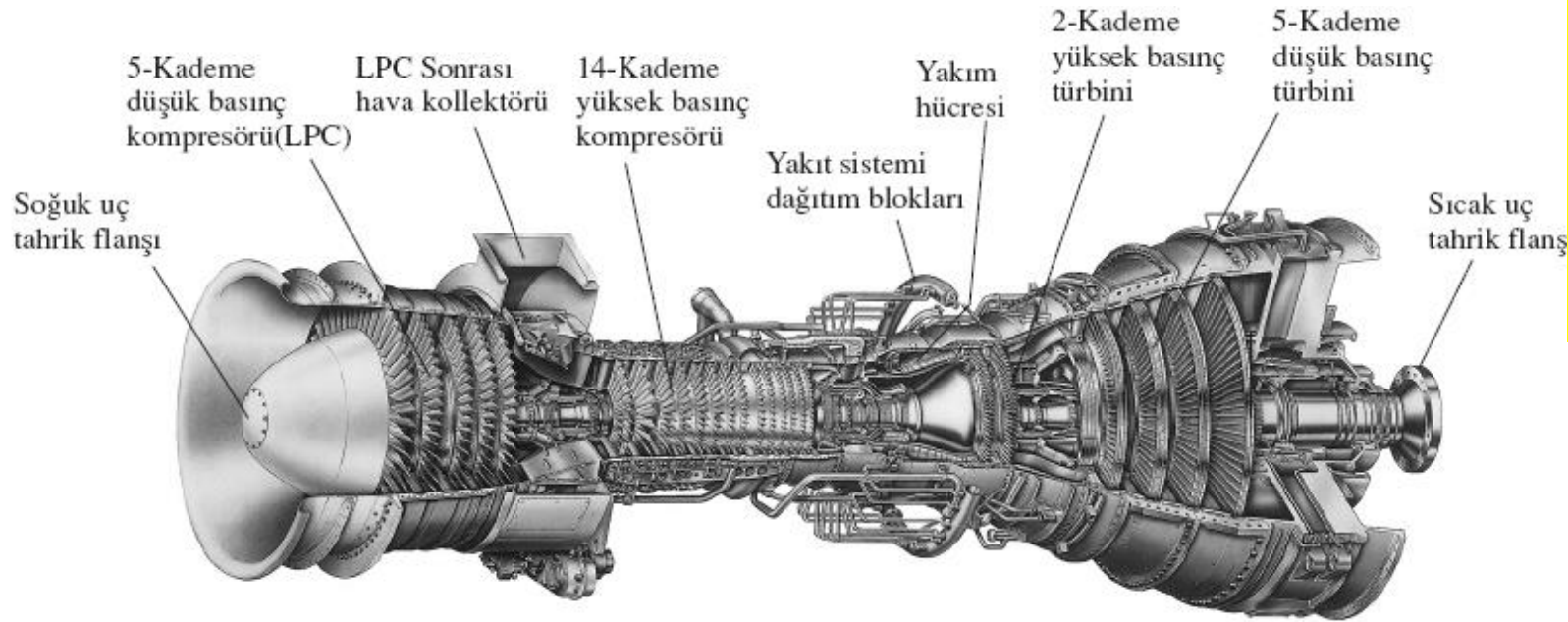
$V_{\dot{c}} = V_2$ = Akışkanın çıkıştaki (yani son durumdaki) hızı ($\frac{m}{s}$)

$\frac{V_2^2}{2}$ = Akışkanın çıkışta hızından dolayı sahip olduğu kinetik enerji ($\frac{m^2}{s^2}$)

$g.z_{\dot{c}} = g.z_2$ = Akışkanın çıkışta (yani son durumda) sahip olduğu pot.enerji ($\frac{m^2}{s^2}$)

BAZI SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEMLER

Mühendislik sistemlerinin birçoğu, aynı giriş ve çıkış koşullarında uzun süreler çalışırlar. Örneğin bir güç santralının **lüle, yayıcı, türbin, kompresör, ısı değiştiricisi, pompa, kısılma vanası, karışma odası** gibi elemanları, sistem bakıma alınmadan önce **aylarca çalışabilir**. Bu nedenle, bu sistemleri rahatlıkla sürekli akışlı açık sistemler olarak çözümleyebiliriz.

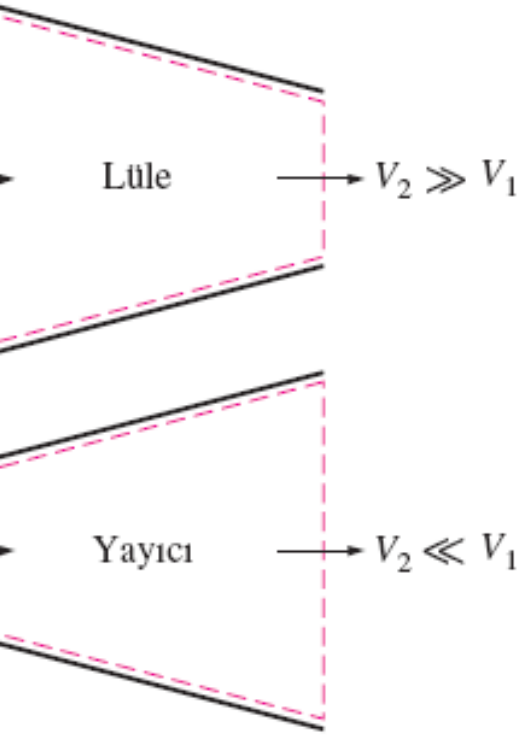


Yüksek hızlarda, akışkan hızındaki küçük bir değişim kinetik enerjide önemli değişikliklere yol açabilir.

V_1	V_2	Δke
m/s	m/s	kJ/kg
0	45	1
50	67	1
100	110	1
200	205	1
500	502	1

Elektrik üretiminde kullanılan gelişmiş bir gaz türbini. Bu bir General Electric LM5000 türbinidir. 6.2 m boyunda, 12.5 ton ağırlığındadır ve buhar enjeksiyonuyla 3600 devirde 55.2 MW güç üretmektedir.

Lüleler jet motorlarında, roketlerde, uzay araçlarında ve hatta bahçe hortumlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. **Lüle**, akışın hızını (onun basıncını düşürerek) artıran mekanik bir sistemdir.



Bir lülenin kesit alanı ses altı hızlar için akış yönünde küçülür, ses üstü hızlar için akış yönünde büyür.

$$Q_g + W_g + \dot{m}(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + g.z_1) = Q_\zeta + W_\zeta + \dot{m}(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + g.z_2)$$

Kabuller: $Q_g = 0$, $W_g = 0$, $g.z_g = g.z_\zeta$, $Q_\zeta = 0$, $W_\zeta = 0$

$$(h_1 + \frac{V_1^2}{2}) = (h_2 + \frac{V_2^2}{2})$$

Bir lüle için enerji dengesi:

$$\begin{aligned} \dot{E}_g &= \dot{E}_\zeta \\ \dot{m} \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} \right) &= \dot{m} \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} \right) \end{aligned}$$

Lüle ve yayıcılar akışkan hızında ve dolayısıyla kinetik enerjilerinde büyük değişimler yapmak üzere tasarlanırlar.

$$(\dot{Q} \cong 0, \dot{W} = 0, \text{ ve } \Delta p_e \cong 0)$$

ÖRNEK

Su buharı, giriş kesit alanı 0.02 m^2 olan bir lüleye 1.8 Mpa basınç ve 400 oC sıcaklıkta girmektedir. Su buharının kütleli debisi $5 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ olup lüleden 1.4 Mpa basınçta ve $275 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ hızda çıkmaktadır. Lüleden buharın birim kütleli ısı geçişi $2.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ dir. Su buharının

a) Lüleye giriş hızını bul.?

b) Lüleden çıkıştaki sıcaklığı bulunuz?

$P=1.8 \text{ Mpa}$ için $T_{\text{doyg.}} = 207.11 \text{ oC}$

$400 \text{ oC} > 207.11 \text{ oC}$ olduğuna göre kızgın buhar dır.

$P=1.8 \text{ Mpa}$, $T=400 \text{ oC}$ için $v_1 = 0.16849 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ (A6)

$$q_{\zeta} = \text{kJ/kg}$$

$$Q_{\zeta}/\dot{m} = q_{\zeta}$$

$$\dot{m} = \rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1$$

$$\dot{m} = \frac{1}{v_1} \cdot V_1 \cdot A_1$$

$$V_1 = \frac{\dot{m} \cdot v_1}{A_1} = \frac{5 \text{ kg} \cdot 0.16849 \text{ m}^3}{\text{s kg } 0.02 \text{ m}^2} = 42.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

b) Sıcaklık değerini entalpi yi (h_2) bularak tablodan okuyabiliriz.

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

$$Q_g = 0 ; \quad W_g = 0 ; \quad W_{\zeta} = 0 ; \quad ; \quad g \cdot z_g = g \cdot z_{\zeta}$$

$$\text{giriş: } g = 1 \quad ; \quad \text{çıkış: } \zeta = 2$$

$$\dot{m}(h_1 + \frac{V_1^2}{2}) = Q_{\zeta} + \dot{m}(h_2 + \frac{V_2^2}{2}) \quad \text{her 2 tarafı } \dot{m} \text{ ile bölelim}$$

$$h_2 = h_1 - q_{\zeta} - \frac{V_2^2 - V_1^2}{2}$$

$$m^2/s^2 = J/kg$$

h1 için: P=1.8 Mpa için T_{doyg.} = 207.11 oC

400 oC > 207.11 oC olduğuna göre kızgın buhar dır.

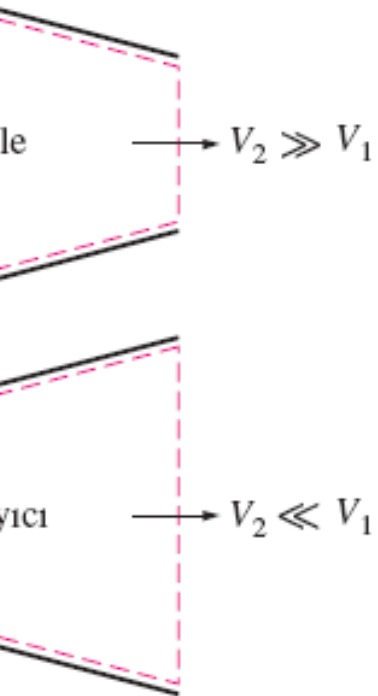
$$P=1.8 \text{ Mpa} , T=400 \text{ oC için } h1 = 3251.6 \frac{kJ}{kg} \quad (A6)$$

$$h2 = h1 - qç - \frac{V2^2 - V1^2}{2} = 3251.6 \frac{kJ}{kg} - 2.8 \frac{kJ}{kg} - \frac{275^2 - 42.1^2}{2} \left(\frac{1}{1000} \right) = 3211.9 \frac{kJ}{kg}$$

A6 tablosundan P=1.4 Mpa için T = 378.5 oC olarak bulunur.

Not: $\frac{m^2}{s^2} = \frac{J}{kg}$

Yayıcılar jet motorlarında, roketlerde, uzay araçlarında ve hatta bahçe hortumlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. **Yayıcı**, akışın basıncını (onun hızını azaltarak) artıran mekanik bir sistemdir.



Bir yayıcının kesit alanı ses altı hızlar için akış yönünde büyür, ses üstü hızlar için akış yönünde küçülür.

$$Q_g + W_g + \dot{m}\left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + g \cdot z_1\right) = Q_\zeta + W_\zeta + \dot{m}\left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + g \cdot z_2\right)$$

Kabuller: $Q_g = 0$, $W_g = 0$, $g \cdot z_g = g \cdot z_\zeta$, $Q_\zeta = 0$, $W_\zeta = 0$

$$\left(h_1 + \frac{V_1^2}{2}\right) = \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2}\right)$$

Bir yayıcı için enerji dengesi:

$$\begin{aligned} \dot{E}_g &= \dot{E}_\zeta \\ \dot{m}\left(h_1 + \frac{V_1^2}{2}\right) &= \dot{m}\left(h_2 + \frac{V_2^2}{2}\right) \end{aligned}$$

Yayıcılar akışkan hızında
kinetik enerji
büyük değişimler
tasarlanırlar.

$$(\dot{Q} \cong 0, \dot{W} = 0, \text{ ve } \Delta p_e \cong 0)$$

ÖRNEK

10 oC sıcaklık ve 80 kPa basınçtaki hava bir jet motorunun yayıcısına $200 \frac{m}{s}$ hız ile girmektedir. Yayıcının giriş kesit alanı $0.4 m^2$ dir. Yayıcının çıkışındaki hız giriş hızına göre çok küçüktür. Yayıcıda sürekli akış olduğunu kabul ederek;

a) Havanın kütleli debisini

b) Yayıcıdan çıkan havanın sıcaklığını bulunuz?

$$a) \dot{m} = \rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1$$

$$\dot{m} = \frac{1}{v_1} \cdot V_1 \cdot A_1$$

$$\rho_1 = \frac{1}{v_1} \quad P \cdot v = m \cdot R \cdot T \text{ ise ;}$$

$$P = \frac{mRT}{V} = \frac{RT}{v} \quad \text{ise; } v = \frac{RT}{P}$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{0.287 \cdot 283}{80} = 1.015 \frac{m^3}{kg}$$

$$\dot{m} = \frac{1}{1.015} \cdot 200 \cdot 0.4 = 78.8 \frac{kg}{s}$$

$$b) Q_g + W_g + \dot{m}(h_g + \frac{V_g^2}{2} + g.z_g) = Q_\zeta + W_\zeta + \dot{m}(h_\zeta + \frac{V_\zeta^2}{2} + g.z_\zeta)$$

$$Q_g = 0 ; \quad W_g = 0 ; \quad Q_\zeta = 0 ; \quad W_\zeta = 0 ; \quad g.z_g = g.z_\zeta$$

$$\text{giriş: } g = 1 \quad ; \quad \text{çıkış: } \zeta = 2$$

$$\dot{m}(h_1 + \frac{V_1^2}{2}) = \dot{m}(h_2 + \frac{V_2^2}{2}) \quad \dot{m} \text{ ler birbirini götürür.}$$

$$h_2 = h_1 - \frac{V_2^2 - V_1^2}{2}$$

h_1 için : 10 oC sıcaklıktaki hava için **A17** tablosundan $h_1 = 283.14 \frac{kJ}{kg}$

$$h_2 = 283.14 - \frac{0^2 - 200^2}{2} \left(\frac{1}{1000} \right) = 303.14 \frac{kJ}{kg}$$

A17 tablosunda $303.14 \frac{kJ}{kg}$ entalpi değerine tekabül eden sıcaklık **303 K** dir.

Türbinler

Buhar, gaz veya hidroelektrik güç santrallerinde, elektrik jeneratörünü döndüren makine **türbindir**.

Akışkan türbinden geçerken mil üzerine yerleştirilmiş kanatçıklara karşı iş yapar. Bunun sonucu olarak mil döner ve türbin işi gerçekleşir.

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

$$Q_1 + W_1 + \dot{m}(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + g.z_1) = Q_2 + W_\zeta + \dot{m}(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + g.z_2)$$

giriş: $g = 1$; çıkış: $\zeta = 2$

$$W_g = 0$$

ÖRNEK

Yoğunluğu $5.98 \frac{kg}{m^3}$ olan ve ideal gaz olarak kabul edilebilen Argon gazı, sürekli akışlı **adyabatik** bir **türbine** 900 kPa basınç ve 450 °C sıcaklıkta 80 m/s hız ile girmekte ve 150 kPa basınçta ve $150 \frac{m}{s}$ hızda çıkmaktadır. Türbin giriş kesit alanı 60 cm^2 dir. **Türbinin gücü 250 kW'dır**. Potansiyel enerji değişimi ihmal edilebilir. Argon gazının türbinden çıkış sıcaklığını bulunuz?

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

$$Q_g=0 ; Q_{\dot{\chi}}=0 ; W_g=0 ; W_{\dot{\chi}}=250 \text{ kW} ; V_g=80 \frac{m}{s} ; V_{\dot{\chi}}=150 \frac{m}{s}$$

Giriş kesit alanı: 60 cm^2

$$\dot{m}=(\text{Yoğ.})(\text{Hız})(\text{Kesit alan}) = 5.98 \cdot 80 \cdot (60 \text{ cm}^2 \frac{1^2 \text{ m}^2}{100^2 \text{ cm}^2}) = 2.87 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}.h_g + \frac{80^2}{2} = 250 + \dot{m} (h_{\dot{\chi}} + \frac{150^2}{2})$$

h_{2t} m ile bölünürse;

$$h_g + \frac{80^2}{2} = \frac{250}{2.87} + h_{ç} + \frac{150^2}{2}$$

$$h_g + 3.2 = 87.1 + h_{ç} + 11.250$$

$$h_{ç} - h_g = 1 \text{ kg} * C_p * (T_s - T_i)$$

$$h_{ç} - h_g = -95.15 = 1 \text{ kg} * 0.5203 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} * (T_s - 450)$$

$$T_s = 267 \text{ oC}$$

ÖRNEK

Sürekli akışlı adyabatik bir türbinin ürettiği güç 5 MW'tır. Su buharının türbine giriş ve çıkış şartları aşağıdaki gibidir.

Giriş: $P_1=2 \text{ Mpa}$, $T_1= 400 \text{ oC}$, $V_1=50 \frac{m}{s}$, $z_1= 10 \text{ m}$

Çıkış: $P_2=15 \text{ kPa}$, $X_2 = 0.90$, $V_2=180 \frac{m}{s}$, $z_2= 6 \text{ m}$

a) Δh , Δke , Δpe değerlerini hesaplayınız?

b) Türbinden akan buharın birim kütlesi tarafından yapılan işi hesaplayınız?

c) Buharın kütleli debisini hesaplayınız?

GİRİŞTE:

$P_1=2 \text{ Mpa}$, $T_{\text{doyg.}}= 212.38 \text{ oC}$

$400 \text{ oC} > 212.38 \text{ oC}$ old.göre; **kızgın buhardır**, $h_1= 3248.4 \frac{kJ}{kg}$ (A6)

ÇIKIŞTA: $X=0.90$ olarak verildiğine göre **doygun sıvı-buhar karışımıdır**.

$$h_2 = h_f + x \cdot h_{fg} \quad h_2 = 225.94 + 0.9 \cdot 2372.3 = 2361.01 \frac{kJ}{kg}$$

$$a) \Delta h = h_2 - h_1 = 2361.01 - 3248.4 = - 887.39 \frac{kJ}{kg}$$

$$\Delta ke = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} = \frac{180^2 - 50^2}{2} \left(\frac{1}{1000} \right) = 14.95 \frac{kJ}{kg}$$

$$\Delta pe = g(z_2 - z_1) = 9.81 \frac{m}{s^2} \cdot (6 - 10) m \left(\frac{1}{1000} \right) = - 0.04 \frac{kJ}{kg}$$

$$b) Q_g + W_g + \dot{m} \left(hg + \frac{V_g^2}{2} + g \cdot z_g \right) = Q_\zeta + W_\zeta + \dot{m} \left(h_\zeta + \frac{V_\zeta^2}{2} + g \cdot z_\zeta \right)$$

$$Q_g = 0 ; Q_\zeta = 0 ; W_g = 0 ; W_\zeta = ? ; V_g = 50 \frac{m}{s} ; V_\zeta = 180 \frac{m}{s}$$

$$\dot{m} \left(hg + \frac{V_g^2}{2} + g \cdot z_g \right) = W_\zeta + \dot{m} \left(h_\zeta + \frac{V_\zeta^2}{2} + g \cdot z_\zeta \right)$$

Her 2 tarafı \dot{m} ile bölelim ve W_ζ 'yi çekelim.

$$W_\zeta = - \left[(h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right]$$

$$W_\zeta = -(\Delta h + \Delta ke + \Delta pe)$$

ÖRNEK

$$W_{\dot{\zeta}} = -(\Delta h + \Delta ke + \Delta pe)$$

$$W_{\dot{\zeta}} = -(-887.39 + 14.95 - 0.04) = 872.48 \frac{kJ}{kg}$$

$$c) 5 \text{ MW} = 5000 \text{ kW} = 5000 \frac{kJ}{s}$$

$$\dot{m} = \frac{W_{\dot{\zeta}}}{w_{\dot{\zeta}}} = \frac{5000 \text{ kJ } kg}{572.48 \text{ s } kJ} = 5.73 \frac{kg}{s}$$

ZAMANLA DEĞİŞMEYEN SÜREKLİ AKIŞLI SİSTEMLER İÇİN (KARARLI HAL SİSTEMLERİ) ÇÖZÜM ALGORİTMASI

*Enerji analizi yapılacak olan cihaz belirlenir.

*Zamanla Değişmeyen Sürekli Akışlı Sistem Cihazı (Kararlı halde çalışan cihaz) olup olmadığına bakılır.

*Zamanla değişmeyen sürekli akışlı sistem için genel enerji denklemi yazılır.

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

*Denklem üzerinde yer alan her bir ifadenin anlamı ve birimi çok iyi bilinir.

*Denklemden uygun ihmallere yapılır.

*Son kalan denklem ifadesi üzerinden birimlere de dikkat edilerek istenen bilgi elde edilir.

7. Hafta ödevi güncel hali

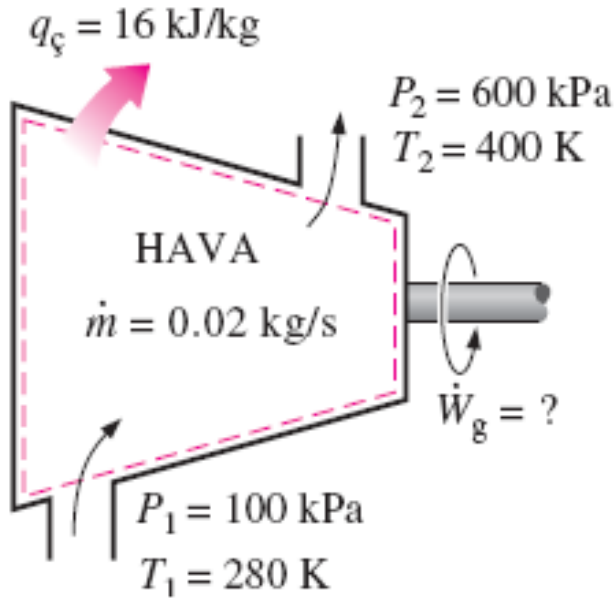
Bir buhar türbini aşağıdaki tabloda verilen şartlarda çalışmaktadır.

a) Türbin tarafından elde edilen gücü bulunuz?

b) Eğer türbinin iyi bir şekilde yalıtılmış olduğunu varsayarsanız ısı kaybı önlenmiş olur. Isı kaybının olmadığını kabul ederek, diğer tüm değerler aynı olmak kaydı ile, türbin tarafından elde edilen güç ne olur?

	GİRİŞ	ÇIKIŞ
Hız(m/dk)	2000	7500
T(K)	873	473
P(Mpa)	3.5	0.10
Akış hızı(kg/h)		10000
Isı kaybı(kJ/h)		125000

Kompresörler



Kompresörler, akışkanın basıncını yükseltme işlevini gerçekleştirir. Bu makinelere, dönen bir mil aracılığıyla dışarıdan güç aktarılır. Bir **kompresör**, gazları yüksek basınçlarasıkiştirmada yeteneklidir.

$$Q_g + W_g + \dot{m}(hg + \frac{Vg^2}{2} + g.zg) = Q_{\dot{\chi}} + W_{\dot{\chi}} + \dot{m}(h_{\dot{\chi}} + \frac{V_{\dot{\chi}}^2}{2} + g.z_{\dot{\chi}})$$

$$W_{\dot{\chi}} = 0$$

Bu şekildeki kompresör için enerji dengesi:

$$\dot{E}_g = \dot{E}_{\dot{\chi}}$$

$$\dot{W}_g + \dot{m}h_1 = \dot{Q}_{\dot{\chi}} + \dot{m}h_2$$

$$(\Delta ke = \Delta pe \cong 0)$$

ÖRNEK

Helyum sürekli akışlı bir kompresörde 120 kPa basınç ve 310 K sıcaklıktan, 700 kPa basınç ve 430 K sıcaklığa sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırma işlemi sırasında çevreye **20 kJ/kg** ısı geçişi olmaktadır. Potansiyel ve kinetik enerji değişimleri ihmal edilerek, helyum debisinin 80 kg/dk olması durumunda gerekli gücü (**kW cinsinden**) hesaplayınız?

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

$$Q_g = 0 ; \quad W_{\dot{c}} = 0 ; \quad V_g = 80 \frac{m}{s} ; \quad V_{\dot{c}} = 150 \frac{m}{s} \quad Q_{\dot{c}} = q_{\dot{c}} * \dot{m}$$

$$W_g + \dot{m}h_g = Q_{\dot{c}} + \dot{m}.h_{\dot{c}} \quad \dot{m} = 80 \frac{kg}{dk} \frac{1 dk}{60 s} = 1.333 \frac{kg}{s}$$

$$W_g = 20 \frac{kJ}{kg} * 1.333 \frac{kg}{s} + 1.333 \frac{kg}{s} (h_{\dot{c}} - h_g)$$

$$W_g = 20 \frac{kJ}{kg} * 1.333 \frac{kg}{s} + 1.333 \frac{kg}{s} \cdot C_p(He) (T_{\dot{c}} - T_g)$$

$$W_g = 20 \frac{kJ}{kg} * 1.333 \frac{kg}{s} + 1.333 \frac{kg}{s} \cdot 5.1926 \frac{kJ}{kg K} \cdot (430 - 310) K$$

$$W_g = 856 \text{ kW}$$

ÖRNEK

100 kPa basınç ve 280 K sıcaklıkta hava sürekli akışlı bir sistemde 600 kPa basınç ve 400 K sıcaklığa sıkıştırılmaktadır. Havanın kütleli debisi $0.02 \frac{kg}{s}$ dir. Sıkıştırma sırasında çevreye $15 \frac{kJ}{kg}$ ısı geçişi olmaktadır. Kinetik ve potansiyel enerji değişimlerini ihmal ederek, kompresörü çalıştırmak için gerekli olan gücü bulunuz? (Hava ideal gaz olarak kabul edilebilir)

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

$$Q_g = 0 ; \quad W_{\dot{c}} = 0 ; \quad Q_{\dot{c}} = q_{\dot{c}} \cdot \dot{m} \quad g.z_g = g.z_{\dot{c}}$$

$$W_g + \dot{m}.h_1 = Q_{\dot{c}} + \dot{m}.h_{\dot{c}}$$

$$W_g + \dot{m}.h_1 = q_{\dot{c}}. \dot{m} + \dot{m}.h_{\dot{c}}$$

$$W_g + \dot{m}h_1 = q_{\dot{c}} \cdot \dot{m} + \dot{m}h_2$$

$$h_1 = h_g = f(T=280 \text{ K}) = 280.13 \text{ kJ/kg} \quad (\text{A17})$$

$$h_2 = h_{\dot{c}} = f(T=400 \text{ K}) = 400.98 \text{ kJ/kg} \quad (\text{A17})$$

$$W_g + (0.02) \cdot (280.13) = (15) \cdot (0.02) + (0.02) \cdot (400.98)$$

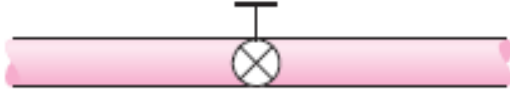
$$W_g = 2.7 \text{ kW}$$

Pompalar, fanlar

Pompalar, akışkanın basıncını yükseltme işlevini gerçekleştirir. **Pompalar**, kompresörlere benzerler ancak gazlar yerine sıvıları sıkıştırmak ve sıvı akışını sağlamak için kullanılırlar.

Fanlar, akışkanın basıncını yükseltme işlevini gerçekleştirir. Bir **fan**, genelde gaz akışını sağlamak amacıyla kullanılır ve gazın basıncı önemli ölçüde artırır.

Kısılma Vanaları



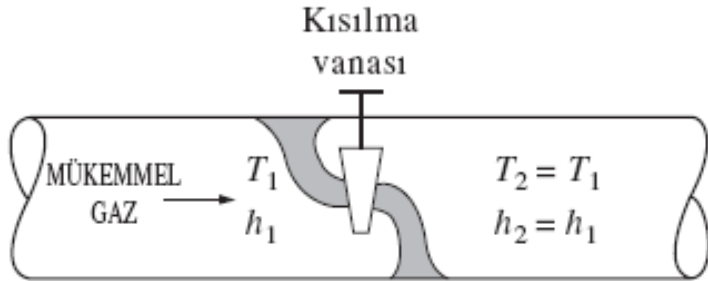
(a) Ayarlanabilir vana



(b) Gözenekli tapa



(c) Kılcal boru



Kısılma vanaları, akış kesitini herhangi bir şekilde azaltarak akışkanın basıncını önemli ölçüde düşüren elemanlardır.

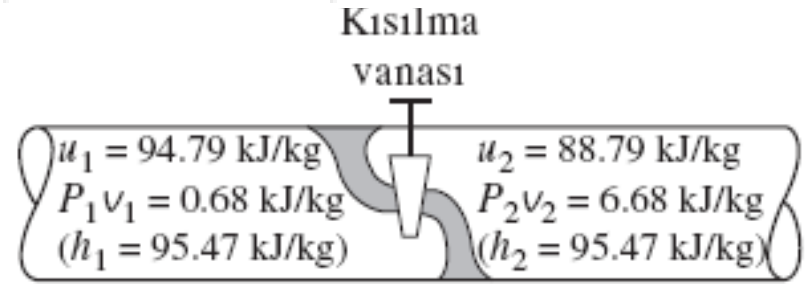
Bir türbin ve bir kısılma vanası arasındaki fark nedir?

Akışkanın basıncı düşerken genellikle sıcaklığında da büyük bir düşme gözlenir. Bu nedenle kısılma vanaları soğutma ve iklimlendirme uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar.

Enerji dengesi

$$h_2 \cong h_1 \quad u_1 + P_1 v_1 = u_2 + P_2 v_2$$

iç enerji + akış enerjisi = sabit



Kısılma işlemi sırasında akışkanın entalpisi sabit kalır. Fakat akış ve iç enerji birbirlerine dönüşebilirler.

ÖRNEK

Soğutucu akışkan R-134a bir buzdolabının kılcal borusuna 0.8 Mpa basınçta doymuş sıvı olarak girmekte ve 0.12 Mpa basınca kısılmaktadır. Soğutucu akışkan R-134a'nın çıkıştaki kuruluk derecesini ve bu işlem sırasında meydana gelen sıcaklık azalmasını bulunuz?

GİRİŞ: $P_1 = 0.8 \text{ Mpa} = 800 \text{ kPa}$ için $T = T_{\text{doyg.}} = T_1 = 31.31 \text{ }^\circ\text{C}$ (doymuş sıvı)

$$h_1 = h_f = 95.47 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (\text{A-12})$$

ÇIKIŞ: $P_2 = 0.12 \text{ Mpa} = 120 \text{ kPa}$ da $h_2 = h_1 = 95.47 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ dir.

0.12 Mpa için $h_f = 22.49 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ ve $h_g = 236.97 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ (A12)

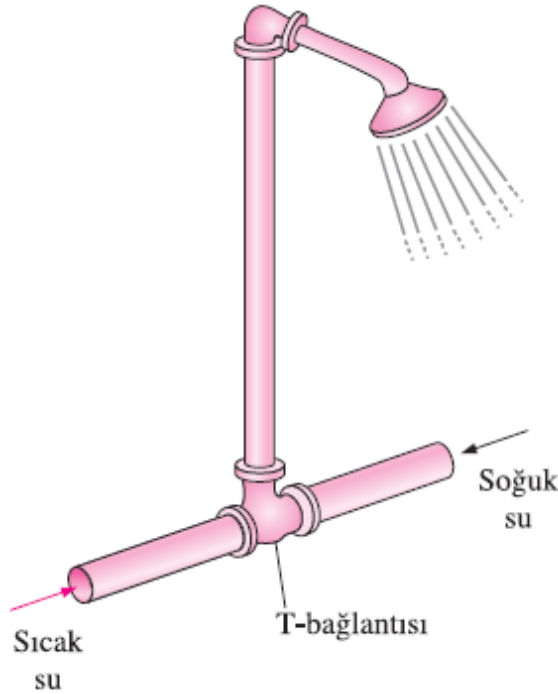
$22.48 < 95.47 < 236.97$ old. göre; çıkışta doymuş sıvı-buhar karışımıdır.

$$X = \frac{h - h_f}{h_g - h_f} = \frac{95.47 - 22.49}{236.97 - 22.49} = 0.340 \quad T_2 = T_{\text{doyg.}} = -22.32 \text{ }^\circ\text{C}$$

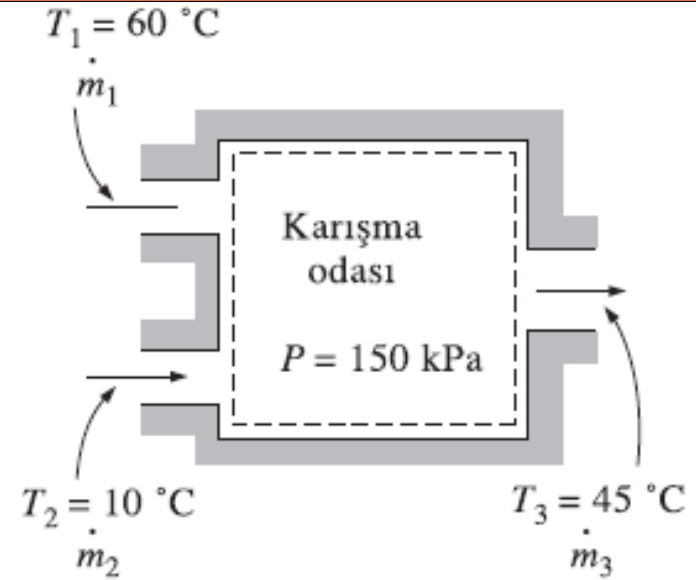
$$\Delta T = T_2 - T_1 = -22.32 - 31.31 = -53.63 \text{ }^\circ\text{C}$$

Karışma Odaları

Mühendislik uygulamalarında, karışma işleminin olduğu kısımlar yaygın olarak bir karışma odası gibi kullanılırlar.



Bir duşun sıradan bir T-bağlantısı sıcak ve soğuk su akışlarının bir araya geldiği karışma odasıdır.



Şekildeki adyabatik karışma odası için enerji dengesi:

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\varphi$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3$$

$$(\dot{Q} \cong 0, \dot{W} = 0, ke \cong pe \cong 0)$$

ÖRNEK

60 oC sıcaklıktaki sıcak su ile 10 oC sıcaklıktaki soğuk suyun karıştırıldığı bir banyo duşu ele alalım. Karıştıktan sonra su sıcaklığının 45 oC olması istenmektedir. Girişte sıcak su debisinin soğuk su debisine oranını bulunuz? Karışma odasından çevreye ısı geçişi olmadığını ve karışımın 150 kPa da sabit basınçta gerçekleştiğini kabul ediniz.

$$Q_g + W_g + \dot{m}_1(h_1 + \frac{v_1^2}{2} + g.z_1) + \dot{m}_2(h_2 + \frac{v_2^2}{2} + g.z_2) = Q_\zeta + W_\zeta + \dot{m}_3(h_3 + \frac{v_3^2}{2} + g.z_3)$$

$$Q_g = 0, W_g = 0, \frac{v_1^2}{2} + \frac{v_2^2}{2}, Q_\zeta = 0, W_\zeta = 0,$$

$$\dot{m}_1.h_1 + \dot{m}_2.h_2 = \dot{m}_3.h_3 \quad \dot{m}_3 = \dot{m}_1 + \dot{m}_2$$

$$\dot{m}_1.h_1 + \dot{m}_2.h_2 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2).h_3$$

$$\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2} = y \text{ diyelim} \quad \dot{m}_1 = \dot{m}_2.y \text{ olur.}$$

$$\dot{m}_2 \cdot y \cdot h_1 + \dot{m}_2 \cdot h_2 = (\dot{m}_2 \cdot y + \dot{m}_2) h_3$$

$$\dot{m}_2 \cdot y \cdot h_1 + \dot{m}_2 \cdot h_2 = \dot{m}_2 (y+1) h_3$$

her 2 tarafı \dot{m}_2 ile bölelim

$$y \cdot h_1 + h_2 = (y+1) \cdot h_3$$

$P=150$ kPa için $T_{\text{doyg.}} = 111.37$ oC

60 oC, 10 oC ve 45 oC < 111.37 oC old. için soğuk sıvıdır.

$$h_1 = h_f (T=60 \text{ oC için}) = 251.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_2 = h_f (T=10 \text{ oC için}) = 42.022 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_3 = h_f (T=45 \text{ oC için}) = 188.44 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$y \cdot h_1 + h_2 = (y+1) \cdot h_3$$

$$y \cdot (251.18) + (42.022) = (y + 1) 188.44$$

$y = 2.33$ bulunur.

7. Hafta ödevi güncel hali

Bir buhar türbini aşağıdaki tabloda verilen şartlarda çalışmaktadır.

a) Türbin tarafından elde edilen gücü bulunuz?

b) Eğer türbinin iyi bir şekilde yalıtılmış olduğunu varsayarsanız ısı kaybı önlenmiş olur. Isı kaybının olmadığını kabul ederek, diğer tüm değerler aynı olmak kaydı ile, türbin tarafından elde edilen güç ne olur?

	GİRİŞ	ÇIKIŞ
Hız(m/dk)	2000	7500
T(K)	873	473
P(Mpa)	3.5	0.10
Akış hızı(kg/h)		10000
Isı kaybı(kJ/h)		125000

7. HAFTA ÖDEVİ ÇÖZÜMÜ

Buhar türbini zamanla değişmeyen sürekli akışlı sistem olarak çalışır.

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

$Q_g = 0$ (soruda ısı verildiğine dair bir bilgi yok)

$W_g = 0$ (buhar türbinine iş verilmez, iş yapılmaz)

$g.z_g = g.z_\zeta =$ ihmal edilir.

$$\dot{m}(h_g + \frac{V_g^2}{2}) = Q_\zeta + W_\zeta + \dot{m}(h_\zeta + \frac{V_\zeta^2}{2})$$

$$\dot{m} = 10000 \frac{kg}{h} \cdot \frac{1 h}{3600 s} = 2.78 \frac{kg}{s}$$

hg için : 3.5 Mpa için $T_{\text{doyg.}} = 242.56 \text{ } ^\circ\text{C}$

$873 - 273 = 600 \text{ } ^\circ\text{C} > 242.56 \text{ } ^\circ\text{C}$ old. için kızgın buhar

$$3.5 \text{ Mpa ve } T = 600 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ için } h_g = 3678.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (\text{A-6})$$

hç için : 0.1 Mpa için $T_{\text{doyg.}} = 99.61 \text{ } ^\circ\text{C}$

$473 - 273 = 200 \text{ } ^\circ\text{C} > 99.61 \text{ } ^\circ\text{C}$ old. için kızgın buhar

$$0.1 \text{ Mpa ve } T = 200 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ için } h_{\text{ç}} = 2875.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (\text{A-6})$$

$$Q_{\text{ç}} = 125000 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 34.72 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

$$V_g = 2000 \frac{m}{dk} \cdot \frac{1 dk}{60 s} = 33.33 \frac{m}{s}$$

;

$$\frac{V_g^2}{2} = \frac{33.33^2}{2.1000} = 0.555 \frac{kJ}{kg}$$

$$V_\zeta = 7500 \frac{m}{dk} \cdot \frac{1 dk}{60 s} = 125 \frac{m}{s}$$

;

$$\frac{V_\zeta^2}{2} = \frac{125^2}{2.1000} = 7.8125 \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{m}(hg + \frac{V_g^2}{2}) = Q_\zeta + W_\zeta + \dot{m}(h_\zeta + \frac{V_\zeta^2}{2})$$

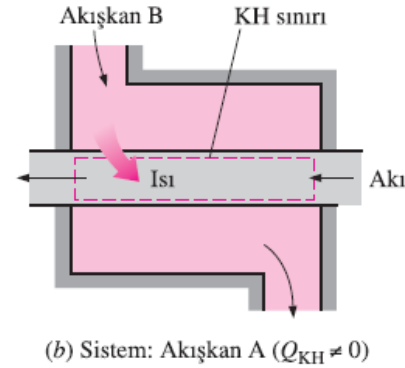
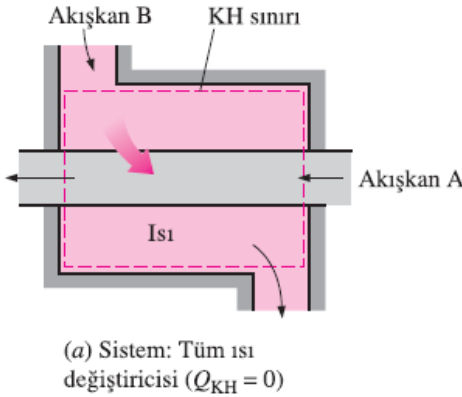
$$2.78 \frac{kg}{s} (3678.9 \frac{kJ}{kg} + 0.555 \frac{kJ}{kg}) = 34.72 \frac{kJ}{s} + W_\zeta + 2.78 \frac{kg}{s} (2875.5 \frac{kJ}{kg} + 7.8125 \frac{kJ}{kg})$$

a) $W_\zeta = 2178 \text{ kW}$

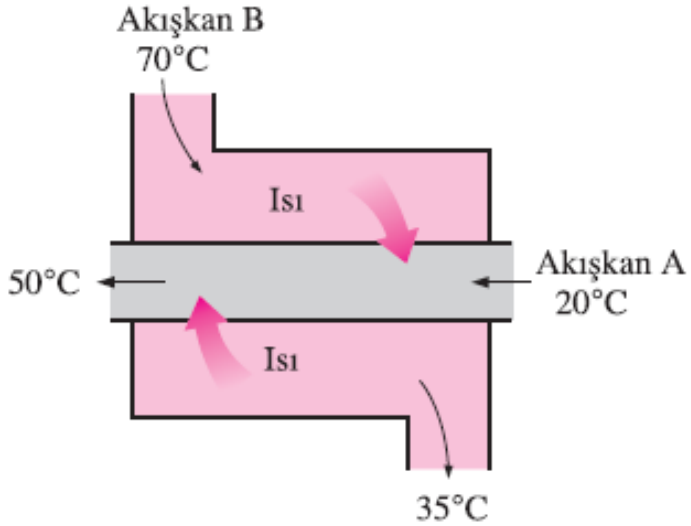
b) $Q_\zeta = 0$ ise ; $W_\zeta = 2213 \text{ kW}$ olur.

Isı Değiştiricileri

Isı değiştiricileri, iki akışın karışmadan ısı alışverişinde buldukları mekanik düzenlerdir. Isı değiştiricileri endüstride yaygın olarak kullanılırlar ve değişik tasarımlarda olabilirler.



Isı değiştiricisinde ki ısı geçişi, sistem seçimine bağlı olarak sıfır veya sıfırdan farklı olabilir.



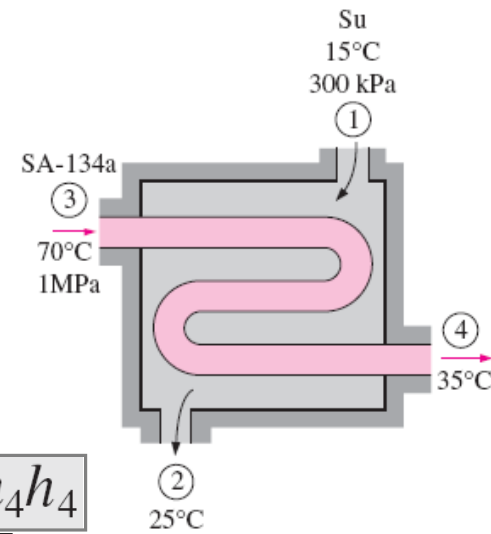
Şekildeki adyabatik ısı değiştiricileri için kütle ve enerji dengesi:

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

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

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\varphi$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_4 h_4$$



Bir ısı değiştiricisi, içice geçmiş iki boru kadar basit olabilir.

ÖRNEK

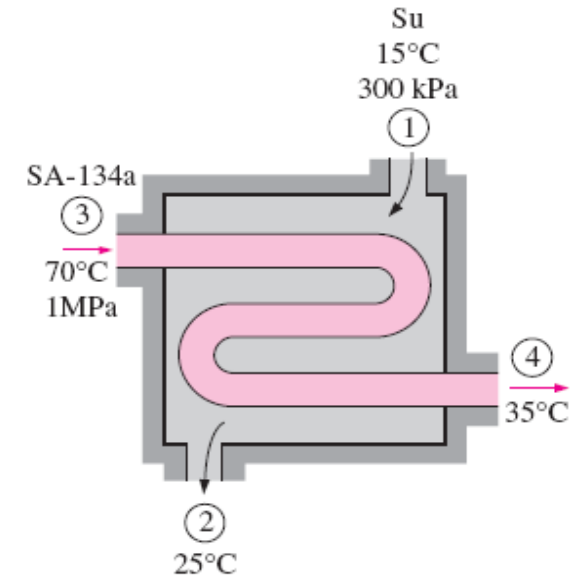
Soğutucu akışkan R-134a bir yoğuşturucuda su tarafından soğutulmaktadır. Soğutucu akışkan R-134a yoğuşturucuya 1 MPa basınç ve 70 oC sıcaklıkta $6 \frac{kg}{dk}$ debi ile girmektedir. 35 oC sıcaklıkta çıkmaktadır. Soğutma suyu ise yoğuşturucuya 300 kPa basınç ve 15 oC sıcaklıkta girmekte 25 oC sıcaklıkta çıkmaktadır. Basınç kayıplarını ihmal ederek;

- Soğutma suyunun kütleli debisini bul.?
- Soğutucu akışkandan suya olan ısı geçişini bul.?

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \text{suyun kütleli debisi}$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \text{R-134a'nın kütleli debisi} = 6 \frac{kg}{dk}$$

1=Su giriş, 2=su çıkış ; 3=R-134a giriş, 4=R-134a çıkış ;



$$Q_g + W_g + \dot{m}_1(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + g.z_1) + \dot{m}_3(h_3 + \frac{V_3^2}{2} + g.z_3)$$

$$= Q_{\dot{c}} + W_{\dot{c}} + \dot{m}_2(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + g.z_2) + \dot{m}_4(h_4 + \frac{V_4^2}{2} + g.z_4)$$

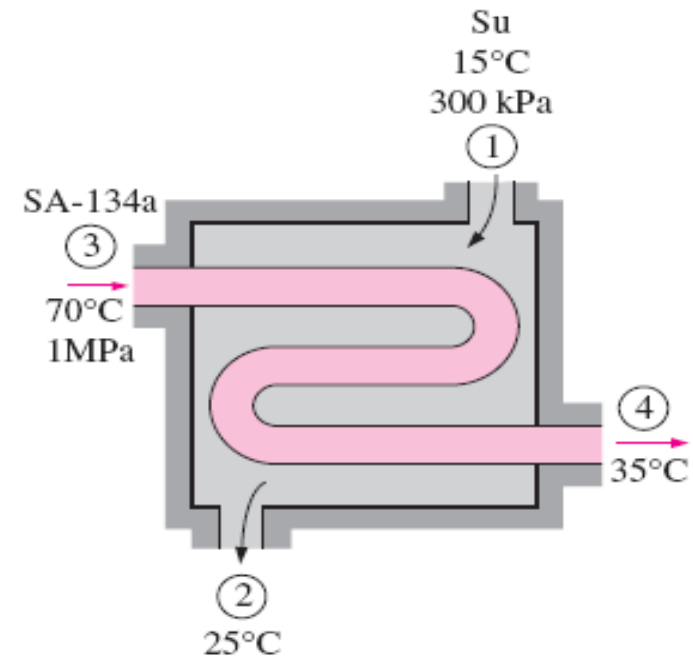
İhmaller yapılıncaya ; $Q_g=0$, $W_g=0$, $Q_{\dot{c}}=0$, $W_{\dot{c}}=0$, ke ve pot.e.=ihmal

$$\dot{m}_1.h_1 + \dot{m}_3.h_3 = \dot{m}_2.h_2 + \dot{m}_4.h_4$$

$$\dot{m}_1=\dot{m}_2 = \dot{m}_{su} \quad ; \quad \dot{m}_3=\dot{m}_4 = \dot{m}(R-134a)$$

$$\dot{m}_{su}.h_1 + \dot{m}_{R-134a}.h_3 = \dot{m}_{su}.h_2 + \dot{m}_{R-134a}.h_4$$

$$\dot{m}_{su}.(h_1 - h_2) = \dot{m}(R-134a).(h_4 - h_3)$$



SU İÇİN: P=300 kPa ise T_{doyg.} = 133.52 oC (A5)

15 oC ve 25 oC < 133.52 oC olduğu için hep soğuk sıvıdır.

$$h_1 = h_f(T=15 \text{ oC}) = 62.982 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad ; \quad h_2 = h_f(T=25 \text{ oC}) = 104.83 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

R-134a için: P=1 Mpa = 1000 kPa ise T_{doyg.} = 39.37 oC (A13)

70 oC > 39.37 oC olduğu için kızgın buhar dır. $h_3 = 303.85 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

T₄ = 35 oC < 39.37 oC olduğu için soğuk sıvıdır. Doygun sıvı olarak alınabilir.

$$h_4 = h_f(T=35 \text{ oC}) = 100.87 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (\text{A11})$$

$$\dot{m}_{\text{su}}(h_1 - h_2) = \dot{m}(\text{R-134a})(h_4 - h_3) \quad \text{idi.}$$

$$\dot{m}_{\text{su}}(62.982 - 104.83) = 6 \frac{\text{kg}}{\text{dk}} (100.87 - 303.85)$$

$$\dot{m}_{\text{su}} = 29.1 \frac{\text{kg}}{\text{dk}}$$

b) Sınırlarından ısı geçişi olan akışkan su dur. Çünkü 15 oC de girmiş bir miktar ısı aldığı için 25 oC de çıkmıştır.

$$Q_{giren} + \dot{m}_{su} \cdot h_1 = \dot{m}_{su} \cdot h_2$$

$$Q_{giren} = \dot{m}_{su} \cdot h_2 - \dot{m}_{su} \cdot h_1$$

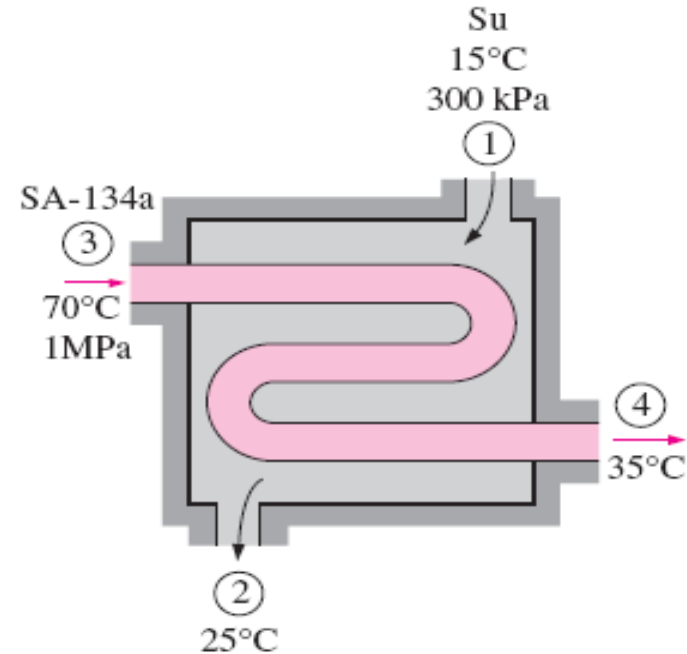
$$Q_{giren} = \dot{m}_{su} (h_2 - h_1)$$

$$Q_{giren} = 29.1 \frac{kg}{dk} (104.83 - 62.982) \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_{giren} = 1218 \frac{kJ}{dk}$$

$$Q_{giren} = 1218 \frac{kJ}{dk} \cdot \frac{1 dk}{60 s} = 20.3 kW$$

yazılabilir.



9. HAFTA ÖDEV SORUSU

1 MPa basınç ve 90 °C sıcaklıktaki soğutucu akışkan R-134a, yoğuşturucuda (ısı değiştiricide) bir boru içerisinden geçirilmektedir. Yoğuşturucuda borular üzerinden geçirilen hava ile **1 MPa basınç ve 30 °C** sıcaklığa soğutulmaktadır.

Hava ise yoğuşturucuya **600 m³/dk** debide, **100 kPa basınç ve 27 °C** sıcaklıkta girmekte, aynı debide **100 kPa basınç ve 60 °C sıcaklıkta** çıkmaktadır.

Soğutucu akışkan R-134a'nın kütle sel debisini **m³/dk** olarak hesaplayınız?

Hava ideal gaz olarak kabul edilebilir.

R-134a için

Giriş: 1 MPa basınç ve 90 °C

1MPa için $T_{\text{doyg.}}=39.37$ °C

90 °C > 39.37 °C old. için kızgın buhar

$h_g= 324.64$ kJ/kg (A-13)

Çıkış: 1 MPa basınç ve 30 °C

1MPa için $T_{\text{doyg.}}=39.37$ °C

30 °C < 39.37 °C old. için soğuk sıvı

Soğuk sıvı özellikleri = Doymun sıvı özellikleri

$h_{\text{ç}}= h_f (T=30 \text{ °C}) = 93.58$ kJ/kg (A11)

Hava için

Giriş: 600 m³/dk debide, 100 kPa basınç ve 27 °C

hg(27oC)= 300.19 kJ/kg

Çıkış: aynı debide 100 kPa basınç ve 60 °C sıcaklıkta

hç(60 OC) = 333 kJ/kg

Rhava: 0.287 kPa.m³/kgK , Cphava: 1.005 kJ/kg°C

$$Qg + Wg + \dot{m}_{R-134a}(hg + \frac{Vg^2}{2} + g.zg) + \dot{m}_{hava}(hg + \frac{Vg^2}{2} + g.zg) = Qç + Wç + \dot{m}_{R-134a}(hç + \frac{Vç^2}{2} + g.zç) + \dot{m}_{hava}(hç + \frac{Vç^2}{2} + g.zç)$$

Uygun ihmaller yapılınc;

$$\dot{m}_{R-134a} \cdot hg + \dot{m}_{hava} \cdot hg = \dot{m}_{R-134a} \cdot hç + \dot{m}_{hava} \cdot hç$$

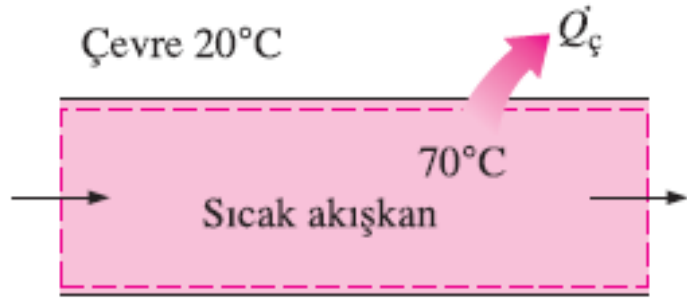
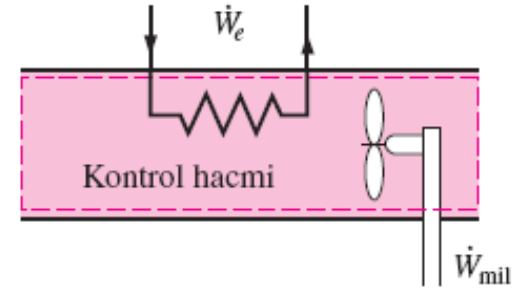
$$\dot{m}_{R-134a}*(h_g-h_ç) = \dot{m}_{hava}*(h_ç-h_g)$$

$$\dot{m}_{R-134a}*(324.64-93.58) = 600*(333 - 300.19)$$

$$\dot{m}_{R-134a} = 85.2 \frac{m^3}{dk}$$

Boru ve Kanallarda Akış

Sıvıların veya gazların borularda veya kanallarda akışının değişik mühendislik uygulamalarında büyük önemi vardır. Bir boru veya kanalda akış genellikle sürekli akış koşullarını sağlar.

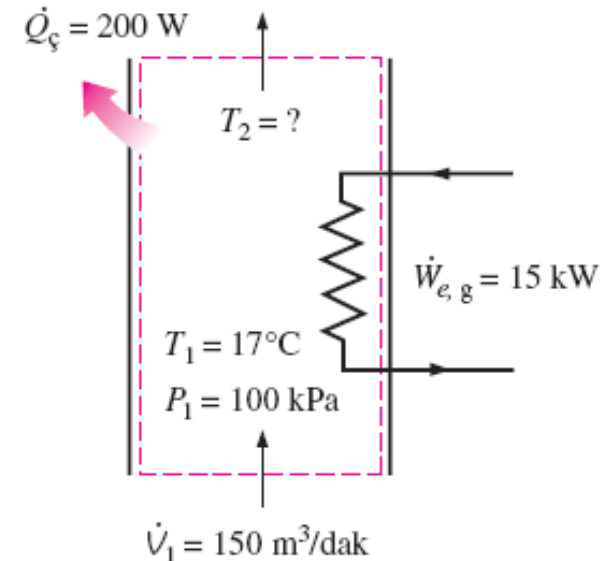


Boru veya kanal akışında aynı zamanda birden çok iş etkileşimi olabilir.

Şekilde gösterilen borudaki akış için enerji dengesi

Yalıtılmamış bir boru veya kanaldan çevreye olan ısı geçişi önemli büyüklükte olabilir.

$$\begin{aligned}\dot{E}_g &= \dot{E}_\varphi \\ \dot{W}_{e,g} + \dot{m}h_1 &= \dot{Q}_\varphi + \dot{m}h_2 \\ \dot{W}_{e,g} - \dot{Q}_\varphi &= \dot{m}c_p(T_2 - T_1)\end{aligned}$$



ÖRNEK

Bir gıda işletmesinde **saatte 200 kg ve 90 °C sıcaklıkta sürekli sıcak suya** ihtiyaç vardır. Bu sıcak su, 15 °C sıcaklıkta bir **kanaldan** akan şebeke suyunun, kanal içinde bulunan **elektrikli bir ısıtıcı** üzerinden geçirilerek ısıtılması ile elde edilecektir. İşlem **adyabatik** olarak yapılacaktır. Buna göre elektrikli su ısıtıcısının gücünü **(kW olarak)** hesaplayınız?

Not: Suyun girişte ve çıkıştaki basıncının **100 kPa** olduğunu kabul ediniz.

$$Q_g + W_g + \dot{m}_1 \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot z_1 \right) = Q_{\dot{c}} + W_{\dot{c}} + \dot{m}_2 \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot z_2 \right)$$

Uygun ihmaller yapılmıca; $W_g + m \cdot h_g = m \cdot h_{\dot{c}}$ olur.

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

GİRİŞ: 100 kPa , $T_{\text{doyg}} = 99.61 \text{ oC}$, $15 < 99.61$ old. göre,

soğuk sıvı = doygun sıvı olarak kabul edilir. $h_g = h_f = 62.982 \text{ kJ/kg}$ (A4)

ÇIKIŞ: 100 kPa , $T_{\text{doyg}} = 99.61 \text{ oC}$, $90 < 99.61$ old. göre,

soğuk sıvı = doygun sıvı olarak kabul edilir. $h_{\dot{c}} = h_f = 377.04 \text{ kJ/kg}$ (A4)

$$W_g = 0.055 (377.04 - 62.982) = 17.4 \text{ kW}$$

Örnek

Konutlarda uygulanan elektrikli ısıtma sistemlerinde hava kanalları ve bu kanalların içinde direnç telli ısıtma elemanları bulunur. Hava direnç telleri üzerinden geçerken ısınır. 15 kW gücünde bir elektrikli ısıtma sistemi ele alınsın. Havanın hacimsel debisi $150 \frac{m^3}{dk}$ olup ısıtma bölümüne 100 kPa basınç ve 17 oC sıcaklıkta girmektedir. Kanaldan çevre ortama 200 W ısı kaybı olduğuna göre; havanın çıkış sıcaklığını bulunuz?

$$Q_g + W_g + \dot{m}_1 \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + g \cdot z_1 \right) =$$

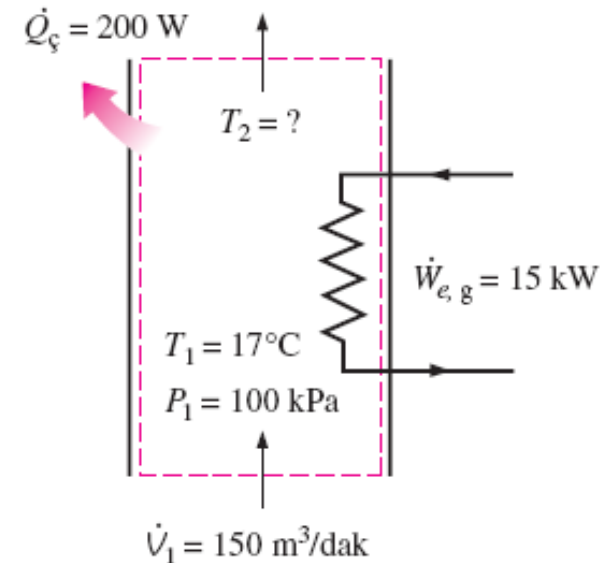
$$Q_{\dot{c}} + W_{\dot{c}} + \dot{m}_2 \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + g \cdot z_2 \right)$$

$Q_g = 0$, $W_{\dot{c}} = 0$, ke, pot.e. = ihmal

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A \quad V \cdot A = \tilde{V}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot \tilde{V} \quad \dot{m} = \frac{1}{v} \tilde{V} = ?$$

$$\rho = \frac{1}{v} \quad v = ?$$



$$PV = m \cdot R \cdot T \quad m = 1 \text{ kg için ; } Pv = RT \quad , \quad v = \frac{RT}{P}$$

$$v = \frac{RT}{P} = \frac{0.287 \cdot 290}{150} = 0.832 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\dot{m} = \frac{1}{V} \tilde{V} = \frac{1}{0.832 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} \cdot 150 \frac{\text{m}^3}{\text{dk}} \cdot \left(\frac{1 \text{ dk}}{60 \text{ s}} \right) = 3 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Wg + \dot{m}_1 \cdot h_1 = Qç + \dot{m}_2 \cdot h_2$$

$$15000 + 3h_1 = 200 + 3h_2$$

$$14800 = 3(h_2 - h_1) = 3 \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) = 3 \cdot 1.005 \cdot (T_2 - 17)$$

$$T_2 = 21.9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ZAMANLA DEĞİŞEN AÇIK SİSTEMLERİN ENERJİ ANALİZİ

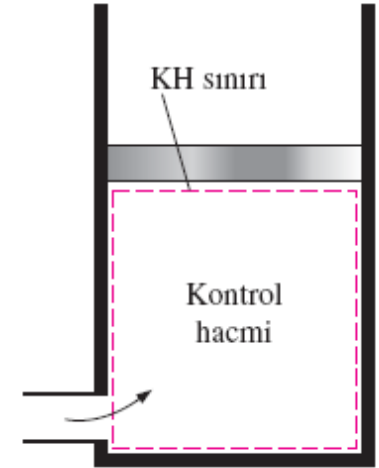
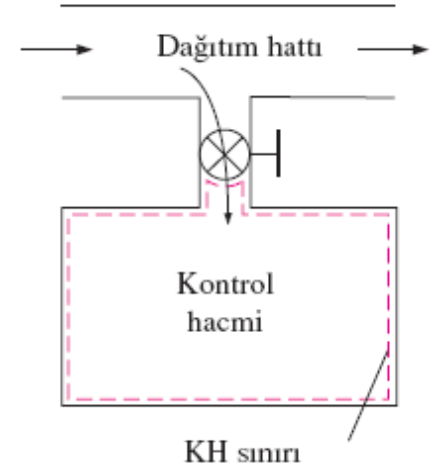
Önemli birçok uygulamada, kontrol hacmi içinde zamanla *değişiklik olur*. Bu tür sistemlere **zamanla değişen açık sistemler** veya **geçici akışlı açık sistemler** adı verilir.

Çoğu zamanla değişen açık sistemler orta derecede *düzgün akışlı sistemler* gibi gösterilebilir.

Düzgün akışlı sistem: Herhangi bir giriş yada çıkıştaki akışkan akışı düzgün ve sürekli ve böylece akışkan özellikleri yada bir giriş yada kesitin üzerindeki durumu zamanla değişmez. Eğer tersine bir durum söz konusu ise, ortalamaları alınır ve tüm sistem için sabit gibi davranılır.

Bir tüpün dağıtım hattından doldurulması zamanla **değişen** açık sistem çözümlemesine girer, çünkü tüp içindeki kütlenin hali zamanla değişir.

Zamanla değişen açık sistemde, kontrol hacminin biçimi ve hacmi değişebilir.



Kütle dengesi

$$m_g - m_ç = \Delta m_{\text{sistem}}$$

$$\Delta m_{\text{sistem}} = m_{\text{son}} - m_{\text{ilk}}$$

$$m_g - m_ç = (m_2 - m_1)_{\text{KH}}$$

Enerji dengesi

$$\underbrace{E_g - E_ç}_{\text{Ist, iş ve kütle ile olan enerji geçişi}} =$$

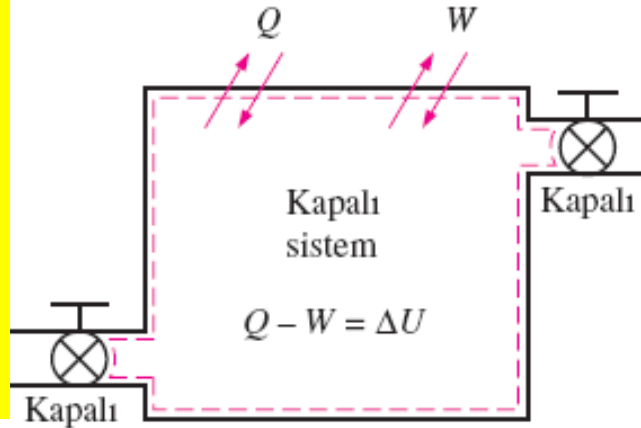
$$\underbrace{\Delta E_{\text{sistem}}}_{\text{Sistemin; iç, kinetik, potansiyel vb. enerjilerindeki değişim}}$$

$$\left(Q_g + W_g + \sum_g m\theta \right) - \left(Q_ç + W_ç + \sum_ç m\theta \right) = (m_2 e_2 - m_1 e_1)_{\text{sistem}}$$

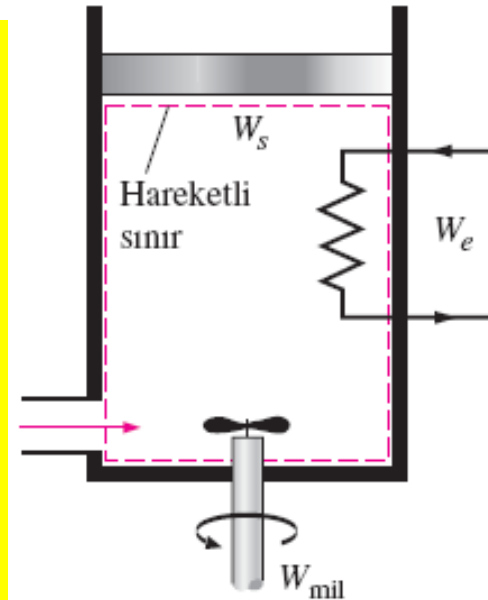
$$\theta = h + ke + pe$$

$$e = u + ke + pe$$

Giriş ve çıkışlar kapatıldığı zaman, düzgün akışlı açık sistemin enerji denklemi kapalı sistemin denklemine dönüşür.



Düzgün akışlı dengeli açık sistemde elektrik işi, mil işi ve sınır işi bir arada gerçekleşebilir.



$$[Q_g + W_g + m_g(h_g + \frac{V_g^2}{2} + g.z_g)] - [Q_ç + W_ç + m_ç (h_ç + \frac{V_ç^2}{2} + g.z_ç)] =$$

$$m_2(u_2 + \frac{V_2^2}{2} + g.z_g) - m_1(u_1 + \frac{V_1^2}{2} + g.z_ç)$$

Q_g =Giren ısı ; W_g =Giren iş ; m_g =Giren kütle ; h_g =Giren kütleinin entalpisi
 $Q_ç$ = Çıkan ısı ; $W_ç$ =Çıkan iş ; $m_ç$ =Çıkan kütle ; $h_ç$ = Çıkan kütleinin entalpisi

m_2 =Son haldeki kütle ; u_2 =Son halde kapalı sistemin iç enerjisi
 m_1 =İlk haldeki kütle ; u_1 = İlk halde kapalı sistemin iç enerjisi

$m_g(h_g + \frac{V_g^2}{2} + g.z_g)$ = Bu ifadeler giren kütle varsa onunla ilgilidir (2.zaman dilimi, açık)

$m_ç (h_ç + \frac{V_ç^2}{2} + g.z_ç)$ = Bu ifadeler çıkan kütle varsa onunla ilgilidir (2.zaman dilimi, açık)

$m_2(u_2 + \frac{V_2^2}{2} + g.z_g)$ = Bu ifade son durum ile ilgilidir (3.ve son zaman dilimi, kapalı)

$m_1(u_1 + \frac{V_1^2}{2} + g.z_ç)$ = Bu ifade ilk durum ile ilgilidir (Birinci zaman dilimi, kapalı)

Kararlı Hal (Zamanla Değişmeyen Sürekli Akışlı Sistemler)

$$Q_g + W_g + \dot{m}(hg + \frac{Vg^2}{2} + g.zg) = Q_ç + W_ç + \dot{m}(h_ç + \frac{V_ç^2}{2} + g.z_ç)$$

Tek bir kütleli debi var (\dot{m}), her zaman açık sistem, tüm ifadelerde entalpi var.

Kararsız Hal (Zamanla Değişen Sürekli Akışlı Sistemler)

$$Q_g + W_g + m_g(hg + \frac{Vg^2}{2} + g.zg) - [Q_ç + W_ç + m_ç(h_ç + \frac{V_ç^2}{2} + g.z_ç)] =$$
$$m_2(u_2 + \frac{V_2^2}{2} + g.z_2) - m_1(u_1 + \frac{V_1^2}{2} + g.z_1)$$

Dört farklı kütle var (m_g , $m_ç$, m_2 , m_1)

Başlangıçta kapalı sistem, (m_1 , u_1) (1.zaman dilimi, sistemin tespiti, analizi)

Sonra açık sistem (m_g , h_g veya $m_ç$, $h_ç$) (Sistem dolduruluyor veya boşaltılıyor) (2.zaman dilimi)

Sonra yine kapalı sistem (m_2 , u_2) (3. ve son zaman dilimi)

Örnek: (Kararsız hal, boşaltma işlemi)

1.8 m³ hacminde, yalıtılmış bir basınçlı kapta, başlangıçta **500 kPa basınç ve 47 °C sıcaklıkta** hava bulunmaktadır. Daha sonra kabın üzerinde bulunan bir vana açılarak havanın basıncı **100 kPa** a düşürülmektedir. Bu işlem sırasında, kabın içine yerleştirilmiş bir elektrikli ısıtıcı, kap içindeki havanın sıcaklığını sabit tutmaktadır. Yapılan elektrik işini (**kJ cinsinden**) bulunuz?

Not: Kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilebilecek seviyededir. Hava ideal gaz olarak kabul edilebilir.

$$[Q_g + W_g + m g (h_g + \frac{v_g^2}{2} + g \cdot z_g)] - [Q_\varnothing + W_\varnothing + m_\varnothing (h_\varnothing + \frac{v_\varnothing^2}{2} + g \cdot z_\varnothing)] =$$

$$m_2(U_2 + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot z_g) - m_1(U_1 + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot z_\varnothing)$$

$$W_g - m_\varnothing h_\varnothing = m_2 U_2 - m_1 U_1$$

$$PV = m.R.T \text{ ise ; } m = \frac{P.V}{R.T}$$

$$\text{İLK: } 500 \text{ kPa, } 47 \text{ oC , } m_{\text{ilk}} = m_1 = \frac{500 \cdot 1.8}{0.287 \cdot 320} = 9.8 \text{ kg}$$

$$\text{SON: } 100 \text{ kPa, } 47 \text{ oC , } m_{\text{son}} = m_2 = \frac{100 \cdot 1.8}{0.287 \cdot 320} = 1.96 \text{ kg}$$

$$m_{\text{ç}} = m_1 - m_2 = 9.8 - 1.96 = 7.84 \text{ kg}$$

$$h_{\text{ç}} = 320.29 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ (A17)}$$

$$u_2 = u_1 = 228.42 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ (A-17)}$$

$$W_g = (7.84) \cdot (320.29) - (1.96) \cdot (228.42) - (9.8) \cdot (228.42)$$

$$W_g = 720 \text{ kJ}$$

Örnek: (Kararsız hal, boşaltma işlemi)

1.6 m³ hacminde, yalıtılmış bir basınçlı kaptaki, başlangıçta **400 kPa basınç ve 37 °C sıcaklıkta** hava bulunmaktadır. Daha sonra kabın üzerinde bulunan bir vana açılarak havanın bir kısmı **tahliye edilmekte** ve vana kapatılınca havanın basıncının **200 kPa** a düştüğü gözlenmektedir. Bu işlem sırasında, kabın içine yerleştirilmiş bir elektrikli ısıtıcı **220 V**'luk potansiyel fark altında **8 A**'lık akım ile çalıştırılmakta ve böylece proses boyunca kap içindeki **havanın sıcaklığı sabit** tutulmaktadır. **Hava tahliye süresini (elektrikli ısıtıcının çalıştırılma süresini) (dk cinsinden) bulunuz?** **Not:** Kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilebilecek seviyededir. Hava ideal gaz olarak kabul edilebilir.

$$[Q_g + W_g + m_g(h_g + \frac{v_g^2}{2} + g.z_g)] - [Q_ç + W_ç + m_ç(h_ç + \frac{v_ç^2}{2} + g.z_ç)] =$$
$$m_2(u_2 + \frac{v_2^2}{2} + g.z_g) - m_1(u_1 + \frac{v_1^2}{2} + g.z_ç)$$

Uygun ihmallere yapıldığında;

$$W_g - m_ç h_ç = m_2 u_2 - m_1 u_1$$

$$PV = m.R.T \text{ ise ; } m = \frac{P.V}{R.T}$$

$$\text{İLK: } 500 \text{ kPa, } 47 \text{ oC , } m_{\text{ilk}} = m_1 = \frac{400 \cdot 1.6}{0.287 \cdot 310} = 7.19 \text{ kg}$$

$$\text{SON: } 100 \text{ kPa, } 47 \text{ oC , } m_{\text{son}} = m_2 = \frac{200 \cdot 1.6}{0.287 \cdot 310} = 3.59 \text{ kg}$$

$$m_{\text{ç}} = m_1 - m_2 = 7.19 - 3.59 = 3.59 \text{ kg}$$

$$W_g - m_{\text{ç}} h_{\text{ç}} = m_2 u_2 - m_1 u_1$$

$$u_1 = u_2 = 221.25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} ; \quad h_{\text{ç}} = 310.24 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$W_g - (3.59)(310.24) = (3.59)(221.25) - (7.19)(221.25)$$

$$W_g = 317.26 \text{ kJ} = V.I.t = 220 \cdot 8 \cdot t(\text{s})/1000 \text{ ise ; } t = 180 \text{ s} = 3 \text{ dk}$$

ÖRNEK

Sabit hacimli yalıtılmış bir kap bir vana aracılığı ile içinden 1 Mpa basınç ve 300 oC sıcaklıkta su buharı akan bir dağıtım hattına bağlanmıştır.

Başlangıçta vana kapalı olup **kabın içi boştur**. Daha sonra vana açılmakta ve buhar, kap içindeki basınç 1 Mpa oluncaya kadar kaba yavaşça akmaktadır. Bu noktada vana kapatılmaktadır. Kap içindeki buharın son haldeki sıcaklığını hesaplayınız?

$$Q_g + W_g + m g \left(h_g + \frac{v_g^2}{2} + g \cdot z_g \right) - [Q_\zeta + W_\zeta + m_\zeta \left(h_\zeta + \frac{v_\zeta^2}{2} + g \cdot z_\zeta \right)] =$$
$$m_2 \left(u_2 + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot z_g \right) - m_1 \left(u_1 + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot z_\zeta \right)$$

Kap boş olduğu için $u_1=0$; $m_1=0$; $m_\zeta=0$ (Çünkü boş kaptan çıkış olmaz)

$Q_g=0$; $W_g=0$; $W_\zeta=0$, $Q_\zeta=0$; kin. ve pot. = ihmal

Uygun ihmallere yapıldığında; $m g \cdot h_g = m_2 u_2$

$$m_1 g \cdot h = m_2 u_2^2$$

$m_1 = m_2$ olduğu için (Çünkü giren kütle son haldeki kütledir)

$$h = u_2^2 = ?$$

$$P = 1 \text{ Mpa ve } T_{\text{doyg.}} = 179.88 \text{ }^\circ\text{C}$$

$300 \text{ }^\circ\text{C} > 179.88 \text{ }^\circ\text{C}$ old. için **kızgın buhar**

$$h = 3051.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = u_2$$

$u_2 = 3051.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ ve $P = 1 \text{ Mpa}$ için **$T = 451.6 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak bulunur.**

Bölüm 6

TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ

YASASI

T1Y nın bize kazandırdıkları

Bir sisteme değeri bilinen enerjinin verilmesi veya sistemden enerji alınması sonucu, sistem hangi son noktaya ulaşır? **Veya,**

Bir sistemi belirli bir son noktaya ulaştırmak için sistemde kadarlık bir enerji değişimine ihtiyaç vardır?

T1Y'na göre; $Isı = İş$

Nicelik (sayısal miktar)

Verim (T1Y açısından)

KAPALI SİSTEMLER İÇİN

$$\begin{array}{r} E_g \\ \text{ISI} \\ \text{iş} \\ \text{kütle giriş} \end{array} - \begin{array}{r} E_ç \\ \text{ISI} \\ \text{iş} \\ \text{kütle çıkışı} \end{array} = \Delta U + \Delta \text{Kin.} + \Delta \text{Pot.}$$

ZAMANLA DEĞİŞMEYEN SÜREKLİ AKIŞLI SİSTEMLER (KARARLI HAL)

$$Q_g + W_g + \dot{m}(hg + \frac{V_g^2}{2} + g.z_g) = Q_ç + W_ç + \dot{m}(h_ç + \frac{V_ç^2}{2} + g.z_ç)$$

ZAMANLA DEĞİŞEN SÜREKLİ AKIŞLI SİSTEMLER (KARARSIZ HAL)

$$[Q_g + W_g + \dot{m}g(hg + \frac{V_g^2}{2} + g.z_g)] - [Q_ç + W_ç + \dot{m}_ç(h_ç + \frac{V_ç^2}{2} + g.z_ç)] =$$
$$m_2(u_2 + \frac{V_2^2}{2} + g.z_g) - m_1(u_1 + \frac{V_1^2}{2} + g.z_ç)$$

T1Y'nin bize bilgi veremediği durum

Meydana gelen olayın yönü

Kendiliğinden meydana gelen bir olayın yönü hakkında termodinamik açıklama?

Nitelik

T1Y'nin yaptığı haksızlıklar (Isı = İş), (Verim)

Isı \neq İş

Verim (T2Y açısından)

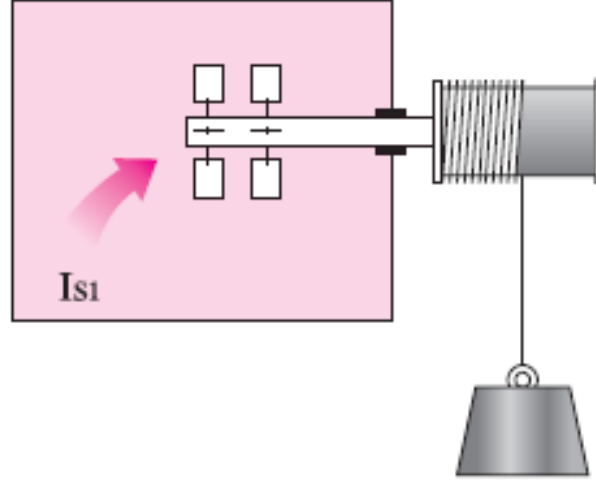
Sınırlamalar

Amaçlar

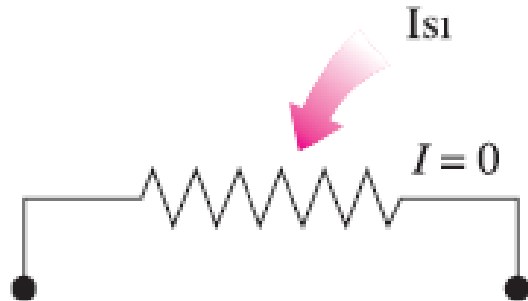
- Termodinamiğin ikinci yasasına giriş yapmak..
- Termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarını birlikte sağlayan geçerli hal değişimlerini belirlemek.
- Isıl enerji depoları, tersinir ve tersinmez hal değişimleri, ısı makineleri, soğutma makineleri ve ısı pompaları kavramlarını tanımak.
- Termodinamiğin ikinci yasasının Kelvin-Planck ve Clausius ifadelerini tanımlamak.
- Devridaim makineleri kavramlarını tartışmak.
- Termodinamiğin ikinci yasasını çevrimlere ve bir çevrim gerçekleştirerek çalışan makinelere uygulamak.
- Mutlak termodinamik sıcaklık ölçeğini belirlemek için ikinci yasanın uygulanması.
- Carnot çevriminin tanımlanması.
- Carnot ilkelerinin, ideal Carnot ısı makinelerinin, soğutma makinelerinin ve ısı pompalarının incelenmesi.
- Tersinir ısı makineleri, ısı pompaları ve soğutma makineleri için ısı verimleri ve etkinlik katsayıları ifadelerinin belirlenmesi.

TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ YASASINA GİRİŞ

Daha soğuk bir odada bulunan bir fincan sıcak kahve daha çok ısınmaz.



Çarka ısı geçişi çarkın dönmesini sağlamaz.



Tele ısı geçişi elektrik üretimine yol açmaz.

Bu işlemler birinci kanuna uymalarına rağmen, gerçekleşemezler.

TEK YÖN

Hal değişimleri belirli bir yönde gerçekleşir. Ters yönde gerçekleşmez.

Bir hal değişiminin gerçekleşebilmesi için termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarının sağlanması zorunludur.

HAL DEĞİŞİMİ

1. yasa

2. yasa



İKİNCİ YASANIN ESAS KULLANIMI

1. İkinci yasa hal değişimlerinin yönünü açıklayabilir.
2. İkinci yasa aynı zamanda enerjinin niceliği kadar **niteliğinin** de olduğunu öne sürer. Birinci yasa, niteliğiyle ilgilenmeksizin, enerjinin niceliğiyle ve bir biçimden diğerine dönüşümüyle ilgilidir. İkinci yasa, enerjinin niteliğinin ve bir hal değişimi sırasında bu niteliğin nasıl azaldığının belirlenmesinin gerekli vasıtalarını sağlar.
3. Termodinamiğin ikinci yasası, yaygın olarak kullanılan ısı makineleri ve soğutma makineleri gibi mühendislik sistemlerinin verimlerinin **kuramsal sınırlarının** ve kimyasal reaksiyonların hangi oranda tamamlanacaklarının belirlenmesinde de kullanılır.

TEK YÖN

Hal değişimleri belirli bir yönde gerçekleşir. Ters yönde gerçekleşmez.

Bir hal değişiminin gerçekleşebilmesi için termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarının sağlanması zorunludur.

HAL DEĞİŞİMİ

1. yasa

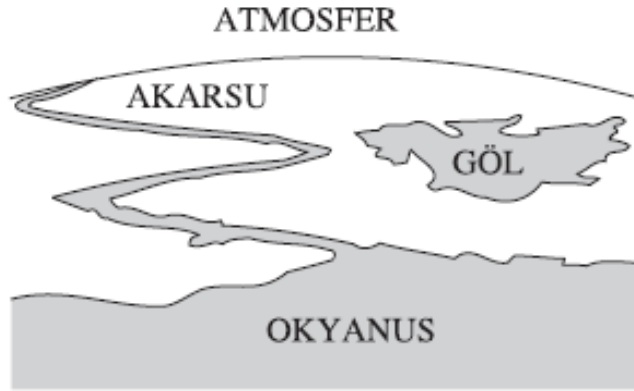
2. yasa



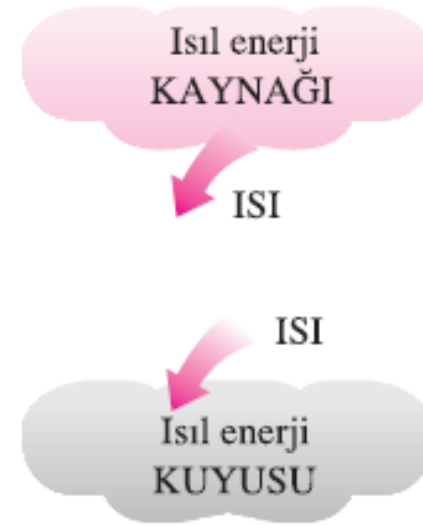
İKİNCİ YASANIN ESAS KULLANIMI

1. İkinci yasa hal değişimlerinin yönünü açıklayabilir.
2. İkinci yasa aynı zamanda enerjinin niceliği kadar **niteliğinin** de olduğunu öne sürer. Birinci yasa, niteliğiyle ilgilenmeksizin, enerjinin niceliğiyle ve bir biçimden diğerine dönüşümüyle ilgilidir. İkinci yasa, enerjinin niteliğinin ve bir hal değişimi sırasında bu niteliğin nasıl azaldığının belirlenmesinin gerekli vasıtalarını sağlar.
3. Termodinamiğin ikinci yasası, yaygın olarak kullanılan ısı makineleri ve soğutma makineleri gibi mühendislik sistemlerinin verimlerinin **kuramsal sınırlarının** ve kimyasal reaksiyonların hangi oranda tamamlanacaklarının belirlenmesinde de kullanılır.

ISIL ENERJİ DEPOLARI



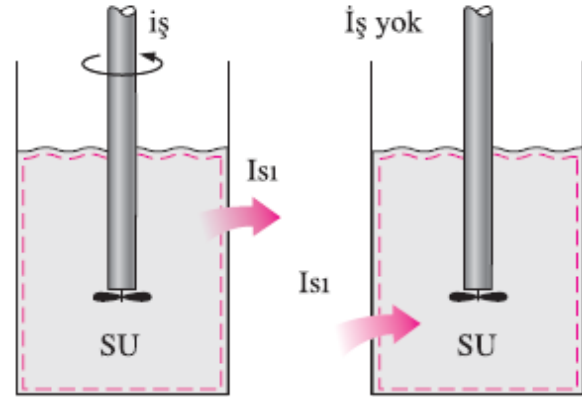
Isıl enerji sığaları büyük kütleler, ısı enerji deposu olarak tanımlanabilir.



Isıl kaynak ısı enerji sağlar, ısı kuyuya ısı enerji verilir.

- Sıcaklığında bir değişim olmaksızın, sonlu miktarda ısıyı verebilecek ya da alabilecek büyüklükte ısı enerji sığasına ($kütle \times özgül \text{ ısı}$) sahip cisimler **ısı enerji deposu** veya yalnızca depo olarak adlandırılır.
- Uygulamada atmosferik hava kadar, okyanuslar, göller ve akarsular gibi büyük su kütleleri de büyük enerji depolama yetenekleri veya ısı kütleleri nedeniyle, birer ısı enerji deposu olarak düşünülebilirler

ISI MAKİNELERİ (Isıdan iş elde etmek)



İşin tümü her zaman ısı enerjisiye dönüştürülebilir, fakat bunun tersi doğru değildir.

Yüksek sıcaklıkta
KAYNAK

Q_{giren}

ISI
MAKİNASI
 $W_{net, çıkan}$

$Q_{çıkan}$

Düşük sıcaklıkta
KUYU

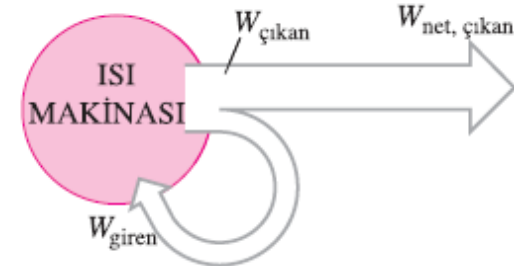
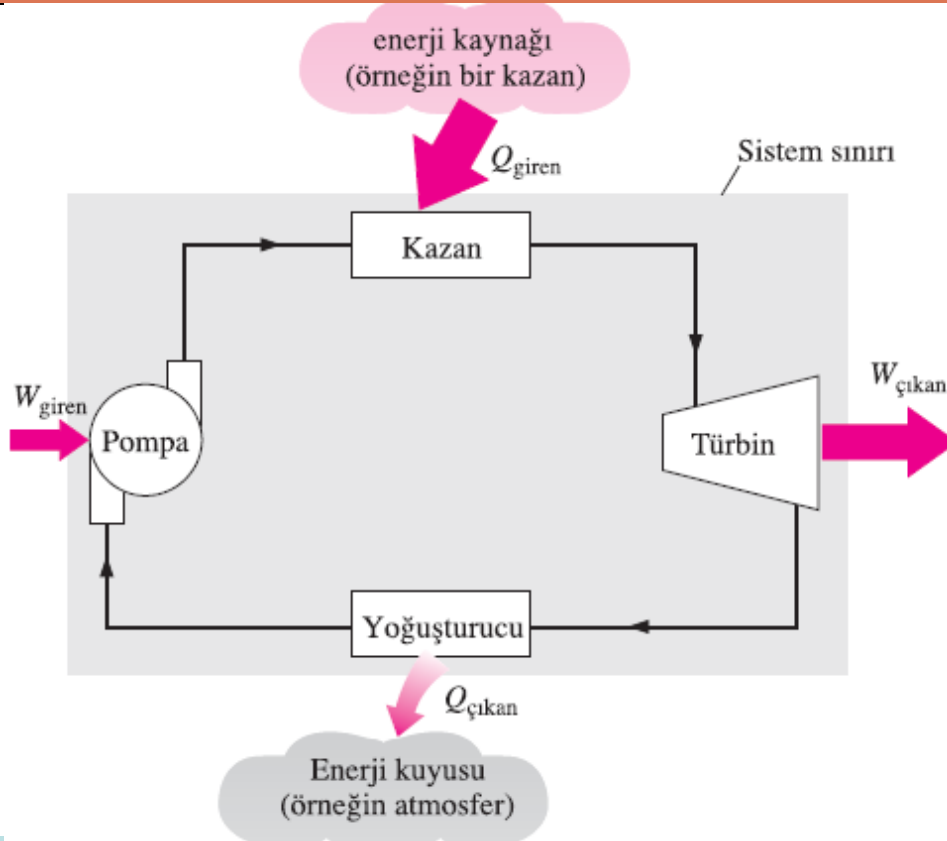
Isı makinesi aldığı ısıнын bir bölümünü işe dönüştürür, geri kalanını düşük sıcaklıktaki bir ısı kuyuya verir.

Makineler **ısıyı işe** dönüştürürler.

1. Yüksek sıcaklıktaki bir kaynaktan (güneş enerjisi, kazanlar, nükleer reaktörler vb.) ısı alırlar .
2. Bu ısıнын bir kısmını işe (dönen mil işi) dönüştürürler
3. Geri kalan atık ısıyı düşük sıcaklıktaki bir kuyuya (atmosfer, akarsular, vb.) verirler.
4. Bir **çevrim** gerçekleştirerek çalışırlar.

Isı makineleri ve bir çevrime göre çalışan diğer makineler, çevrimi gerçekleştirirken ısı alışverişini yapabilecekleri ortam olarak genellikle bir akışkan içerirler. Bu akışkana **iş akışkanı** denir.

Bir buharlı güç santrali



Isı makinesinin yaptığı işin bir bölümü, sürekli çalışmayı sağlamak için çevrim içinde kullanılır.

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

$$W_{net, çikan} = Q_{giren} - Q_{çikan} \quad (\text{kJ})$$

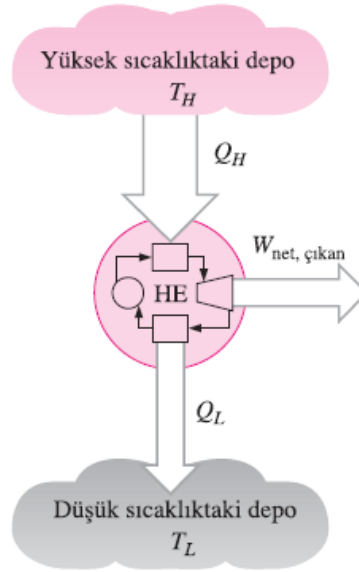
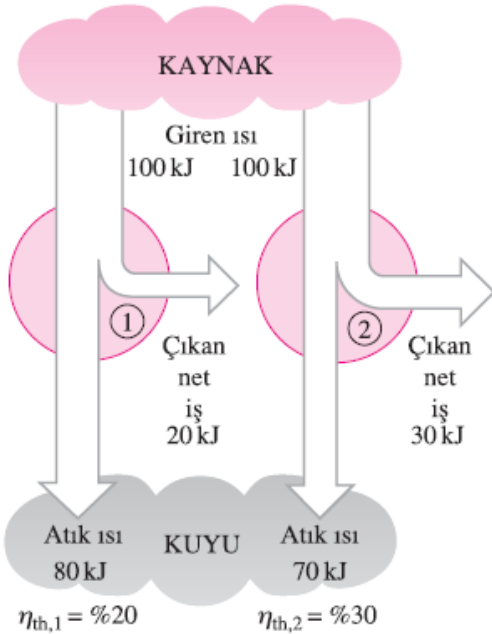
Q_{giren} = Yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağından (kazandan) suya geçen ısı miktarı.

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

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

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

Isıl verim

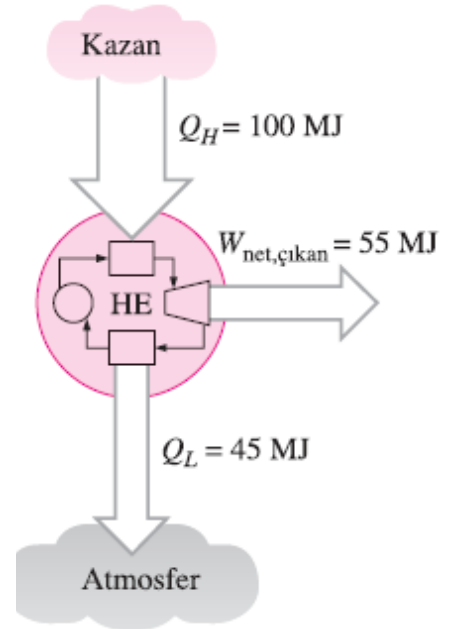


Isı makinesinin genel çizimi

$$W_{net,çıkan} = Q_H - Q_L$$

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

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



Bazı ısı makinelerinin verimi daha yüksektir (aldıkları ısının daha büyük kısmını işe dönüştürürler).

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

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

$$W_{net,çıkan} = Q_{giren} - Q_{çıkan}$$

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

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

Örnek

Bir ısı makinasına kazandan 80 MW ısı geçişi olmaktadır. Isı makinasının yakınındaki akarsuya atık ısı olarak verdiği ısı 50 MW olduğuna göre; bu ısı makinasının net gücünü ve ısı verimini bulunuz?

Yüksek sıcaklıktaki depo: **Kazan**

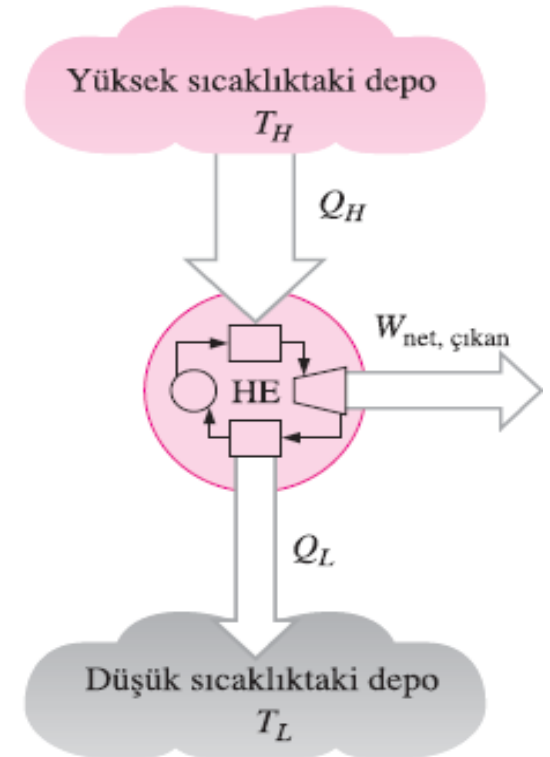
Düşük sıcaklıktaki depo: **Akarsu**

Isı makinasının net gücü : **$W_{net,çıkan}$**

$$W_{net,çıkan} = Q_H - Q_L$$

$$W_{net,çıkan} = 80 - 50 = 30 \text{ MW}$$

$$\eta_{verim} = \frac{W_{net,çıkan}}{Q_H} = \frac{30}{80} = 0.375$$



Örnek

Net elde edilen gücü 50 kW olan bir elektrik motorunun ısı verimi %24 tür. Otomobilde kullanılan yakıt değeri 44000 kJ/kg olduğuna göre; motorun 1 saatteki yakıt tüketimini belirleyiniz?

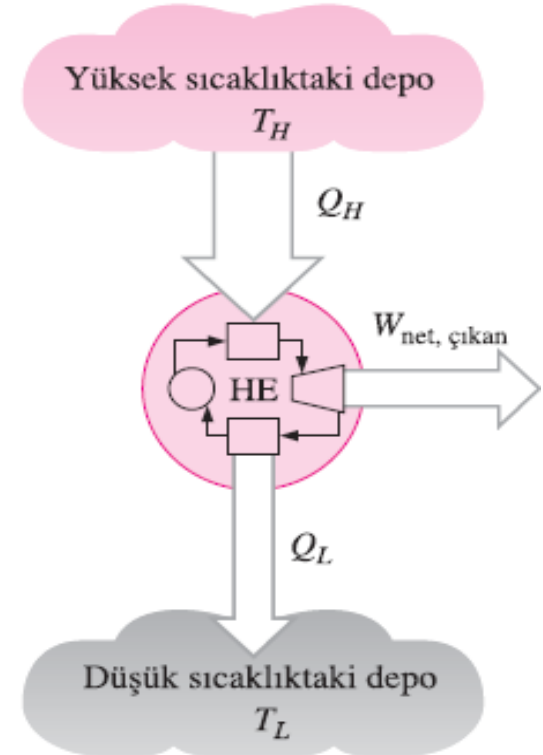
Yüksek sıcaklıktaki depo: **Motor**

Düşük sıcaklıktaki depo: **Çevre**

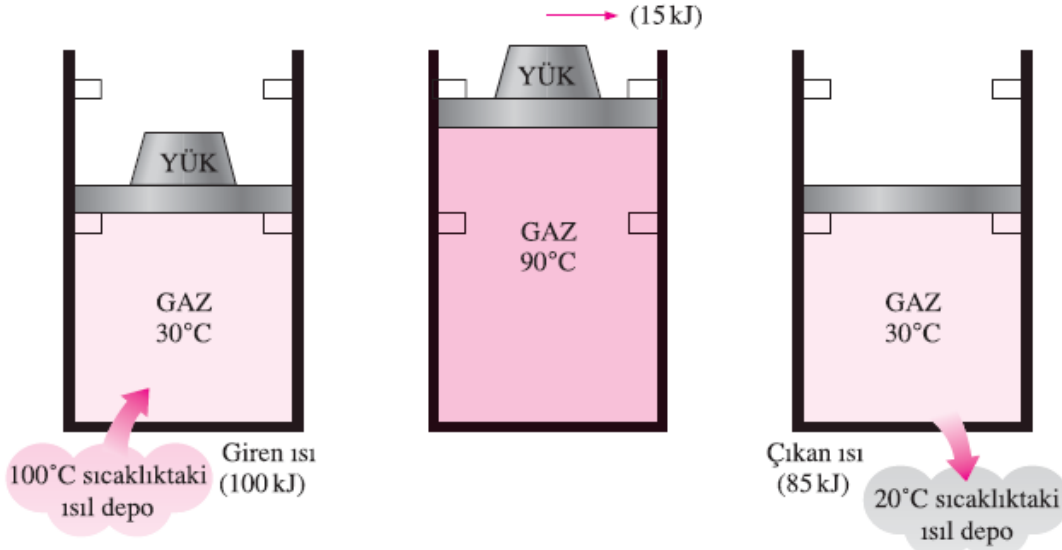
$$\eta_{\text{verim}} = \frac{W_{\text{net, çıkan}}}{Q_H} \text{ ise;}$$

$$Q_H = \frac{W_{\text{net, çıkan}}}{\eta_{\text{verim}}} = \frac{50}{0.24} = 208.3 \text{ kW}$$

$$208.3 \text{ kW} \cdot \frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kW s}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{44000 \text{ kJ}} = 0.00473 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 17 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$



Q_{çıkan} Olmayabilir mi?



Bir ısı makinesi çevrimi, düşük sıcaklıktaki ısı kuyuya bir miktar enerji vermeden tamamlanamaz.

İdeal koşullarda olsa bile, bütün ısı makinelerinin çevrimlerini tamamlayabilmek için bir miktar enerjiyi düşük sıcaklıktaki bir ısı deposuna atık olarak vermesi gerekir.

Bir buharlı güç santralinin yoğuşturucusunda, büyük miktarlarda atık ısı akarsulara, göllere veya atmosfere atılmaktadır.

Bu durumda yoğuşturucu santralden çıkarılıp söz konusu atık ısıdan tasarruf edilemez mi?

Bu sorunun yanıtı, ne yazık ki kesin bir hayırdır. Çünkü, yoğuşturucuda ısı atılma işlemi gerçekleşmeden çevrim tamamlanamaz.

150 MW gücünde bir buharlı güç santrali 1 saatte 60 ton kömür tüketilmektedir. Kömürün ısıl değeri 30000 kJ/kg olduğuna göre, santralin ısıl verimini hesaplayınız?

Yüksek sıcaklıktaki depo: **Kazan**

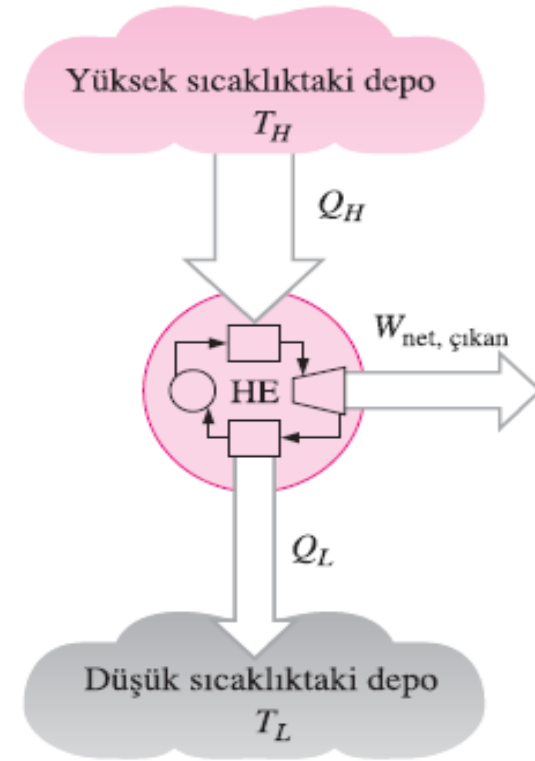
Düşük sıcaklıktaki depo: **Akarsu, göl, nehir, vs.**

$$\eta_{\text{verim}} = \frac{W_{\text{net, çıkan}}}{Q_H} = \frac{150 \text{ MW}}{?? \text{ MW}}$$

$$Q_H = 30000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 60 \frac{\text{ton}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \cdot \frac{\text{s kW}}{1 \text{ kJ}} \cdot \frac{1 \text{ MW}}{1000 \text{ kW}}$$

$$Q_H = 500 \text{ MW}$$

$$\eta_{\text{verim}} = \frac{150 \text{ MW}}{500 \text{ MW}} = 0.30$$

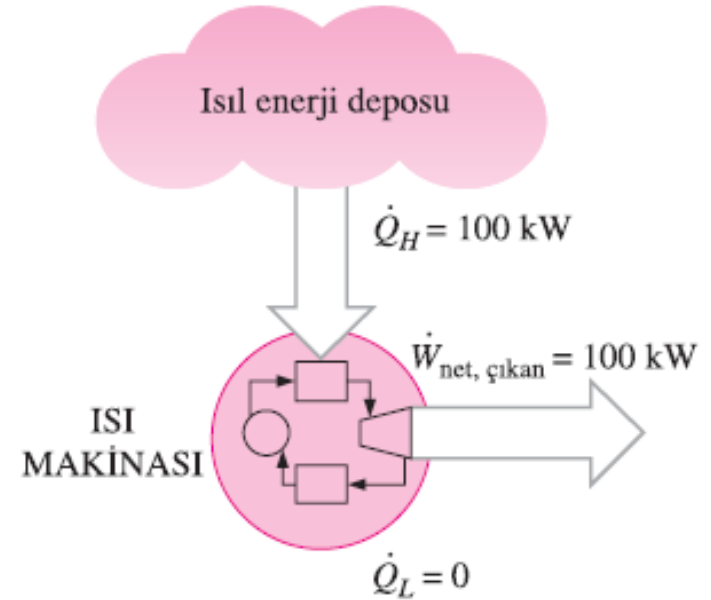


Termodinamiğin İkinci Yasası: Kelvin-Planck İfadesi

Termodinamik bir çevrim gerçekleştirerek çalışan bir makinenin, yalnızca bir kaynaktan ısı alıp net iş üretmesi olanaksızdır.

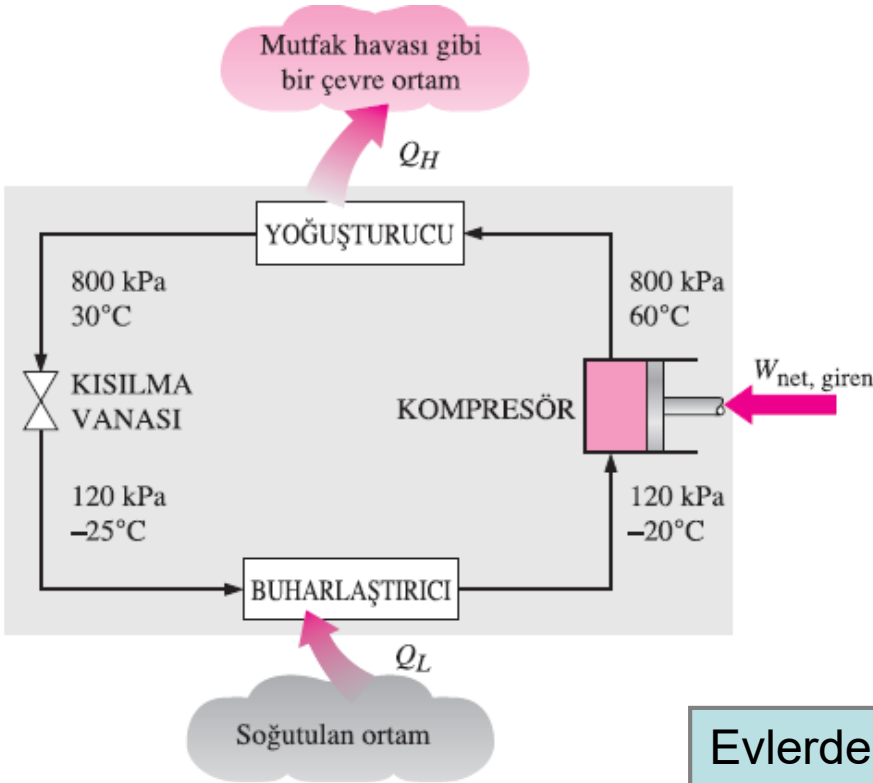
Hiçbir ısı makinesinin ısı verimi yüzde 100 olamaz veya bir güç santralinin sürekli çalışabilmesi için iş akışkanının hem kazanla, hem de çevreyle ısı alışverişinde bulunması gerekir.

Bir ısı makinesinin yüzde 100 ısı verime sahip olamamasının, sürtünmeler veya diğer kayıplardan kaynaklanmadığı vurgulanmalıdır. Çünkü bu sınırlama gerçek ısı makineleri kadar, ideal ısı makineleri için de geçerlidir. .



İkinci yasanın Kelvin-Planck ifadesine aykırı bir ısı makinesi.

SOĞUTMA MAKİNELERİ VE ISI POMPALARI (İş'ten ısı elde etmek için)

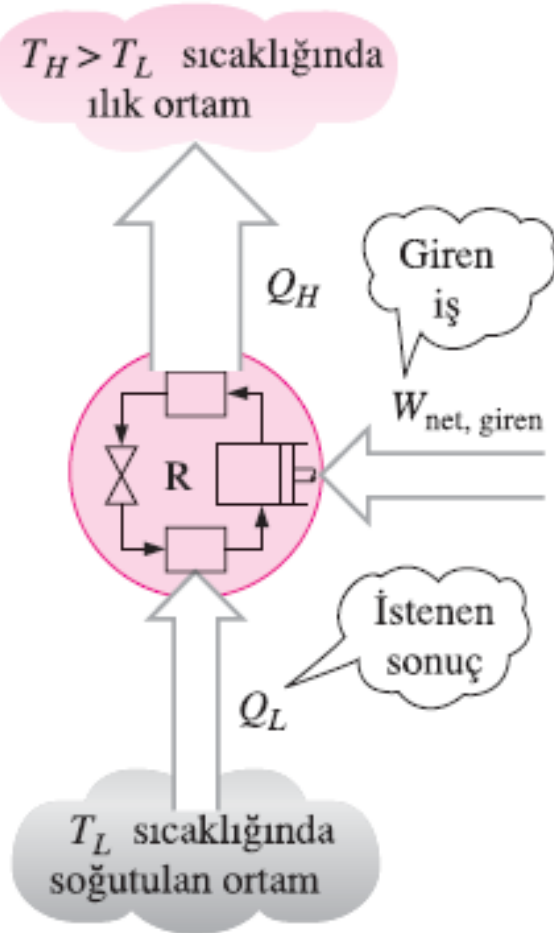


- Düşük sıcaklıklı bir ortamdan yüksek sıcaklıklı bir ortama ısı geçişi kendiliğinden oluşmaz ve **soğutma makineleri** adı verilen özel makinelerin kullanımını gerektirir.
- Isı makineleri gibi soğutma makineleri de bir çevrim gerçekleştirerek çalışan makinelerdir.
- Soğutma çevriminde kullanılan iş akışkanı **soğutucu akışkan** olarak adlandırılır.
- En yaygın kullanılan soğutma çevrimi, **buhar- sıkıştırımlı soğutma çevrimidir**.

Evlerde kullanılan bir buzdolabında, soğutucu akışkan tarafından ısının alındığı dondurucu bölüm, buharlaştırıcı işlevini görür. Buzdolabının arkasında bulunan ve ısının soğutucu akışkandan mutfak havasına geçmesine yarayan borular ise yoğuşturucu olarak görev yapar.

Bir soğutma sisteminin ana elemanları ve tipik çalışma koşulları.

Soğutma Makinası için Etkinlik Katsayısı



Bir soğutma makinesinin verimi, **etkinlik katsayısı** ile ifade edilir ve **COP_{SM}** ile gösterilir. Soğutma makinesinin amacı, soğutulan ortamdaki ısı (Q_L) çekmektir.

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

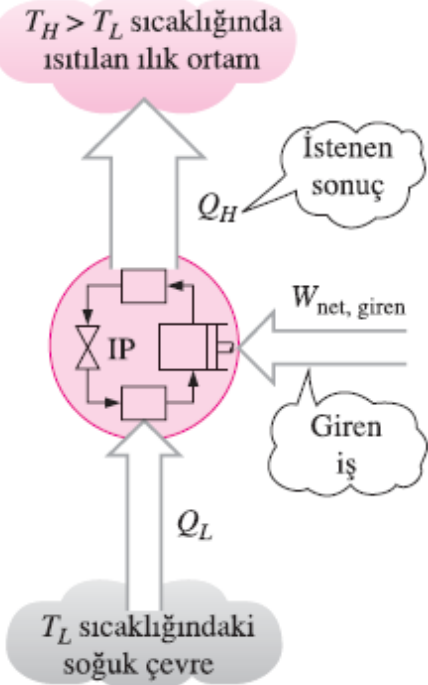
$$W_{net, giren} = Q_H - Q_L \quad (\text{kJ})$$

$$COP_{SM} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{Q_H/Q_L - 1}$$

Bir soğutma makinesinin amacı, soğutulan ortamdaki Q_L ısını çekmektir.

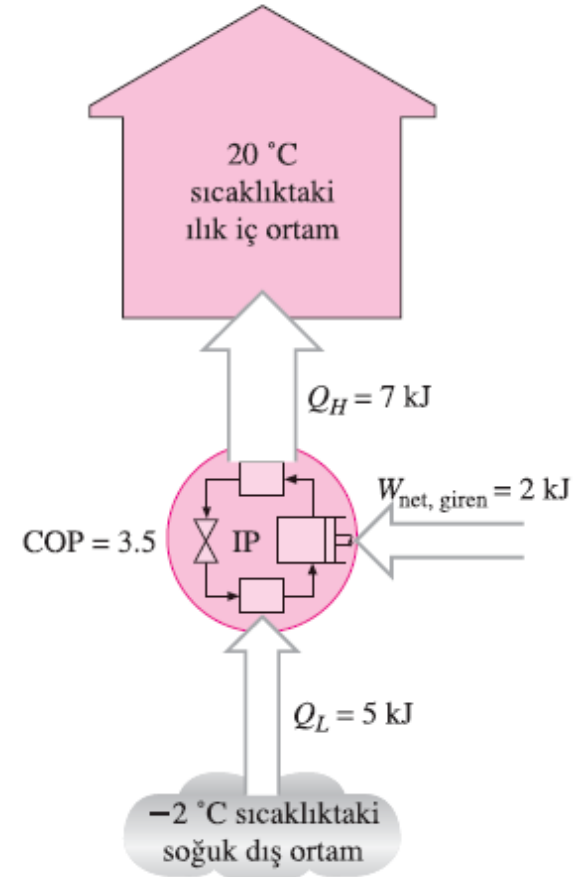
COP_{SM} 'in değeri birden büyük olabilir mi?

Isı Pompası için Etkinlik Katsayısı



Bir ısı pompasının amacı, ılık ortama Q_H ısınımasını sağlamaktır.

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



COP_{IP} 'in değeri birden daha küçük olabilir mi? $COP_{IP}=1$ neyi gösterir?

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

$$COP_{IP} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{1 - Q_L/Q_H}$$

$$COP_{IP} = COP_{SM} + 1 \quad Q_L \text{ ve } Q_H \text{ 'in sabit değerleri için}$$

TL = Düşük sıcaklıktaki ısı kuyunun (atmosfer, göl, nehir, okyanus, deniz gibi) sıcaklığı

(L=Little, düşük , küçük, az anlamında)

TH= TL sıcaklığına göre daha yüksek sıcaklıktaki yerin sıcaklığı (Isı makinelerinde kazanın, soğutma makinesi ve ısı pompasında mutfak ortamı gibi ılık bir ortamın sıcaklığı)

(H= high, yüksek anlamında)

ISI MAKİNALARI

Çevrim gerçekleştirerek çalışır.

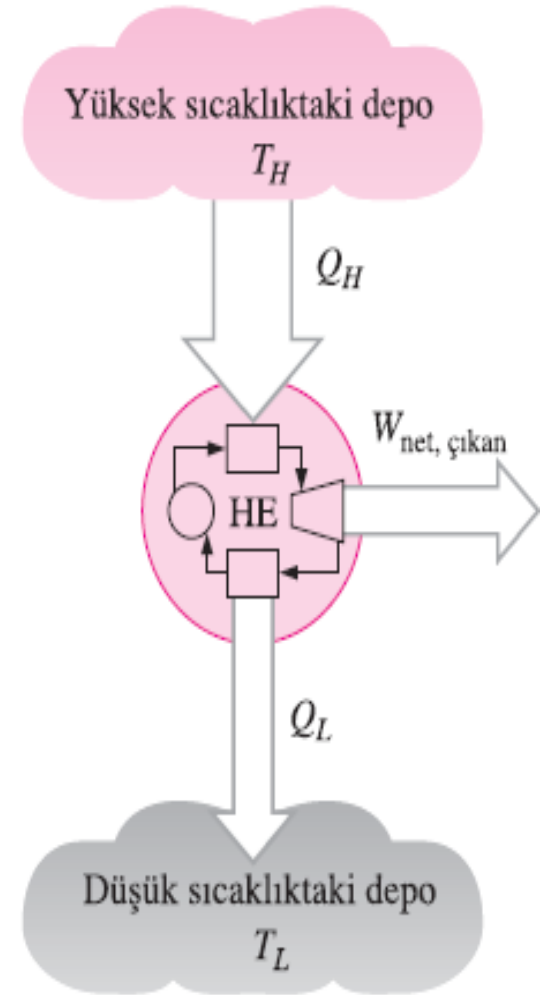
4 ana elemanı: Kazan, türbin, yoğuşturucu, pompa

Çevrimde kullanılan akışkana iş akışkanı denir.

Verim, η verim, ısı verim olarak ifade edilir ve daima 1 den küçüktür. η verim < 1

Kullanım amacı ısı enerjiden iş elde etmektir.

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



Kazan, türbin, yoğuşturucu ve pompa ile birlikte çalıştırıcı akışkan'nın kullanıldığı çevrimi **ısı makinesi** olarak kullandığımızda **harcamış olduğumuz ısı enerjisinden daha az miktardaki iş enerjisini** elde edebiliyoruz.

Amaç: Isı enerjisi harcayarak iş enerjisi elde etmek

Bu durumu açıklayan terim: Isıl verim

Sonuç: Isıl verim < 1

Yani daha çok ısı ver, daha az iş al.

SOĞUTMA MAKİNASI

Çevrim gerçekleştirerek çalışır.

4 ana elemanı: Yoğuşturucu, kompresör, buharlaştırıcı, kısılma vanası

Çevrimde kullanılan akışkana soğutucu akışkanı denir.

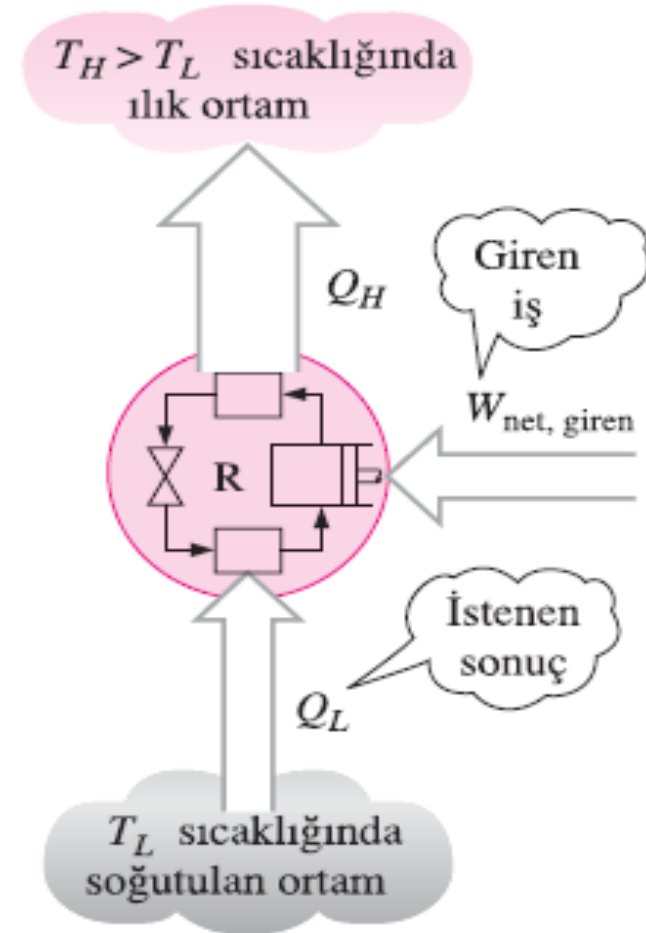
Verim, etkinlik katsayısı COP(SM) olarak ifade edilir. $COP(SM) > 1$ olabilir.

Kullanım amacı iş yaparak ortamdan ısı çekmektir.

$$COP(SM) = \frac{Q_L}{W_{net, giren}} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L}$$

Her 2 tarafı Q_L ile bölelim.

$$COP(SM) = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1}$$



Harcadığımız bir miktar iş enerjisi ile;

a)Kompresör, yoğuşturucu, kısılma vanası ve buharlaştırıcı ile soğutucu akışkanın nın kullanıldığı çevrimi soğutma makinesi olarak kullandığımızda harcamış olduğumuz iş enerjisinden daha fazla miktardaki ısı enerjisini bir ortamdan çekerek o ortamı soğutabiliyoruz.

Amaç: İş enerjisi harcayarak ısı çekerek soğutma yapmak

Bu durumu açıklayan terim: Etkinlik katsayısı COP_{SM}

Sonuç: $COP_{SM} > 1$

Örnek: $COP_{SM} = 7$ ise harcamış olduğumuz iş enerjisinin 7 katı büyüklüğünde ısı enerjisini bir ortamdan çekebiliyoruz.

Yani daha az iş ver, daha çok ısı çek, böylece ısı çekilen ortamı soğut.

ÖRNEK (SOĞUTMA MAKİNASI)

Şekilde genel çizimi görülen bir buzdolabının yiyecek bölümünün 4 oC sıcaklıkta tutulması için bu bölümden 1 dakikada 360 kJ ısı çekilmektedir. Buzdolabını çalıştırmak için gerekli olan güç 2 kW olduğuna göre;

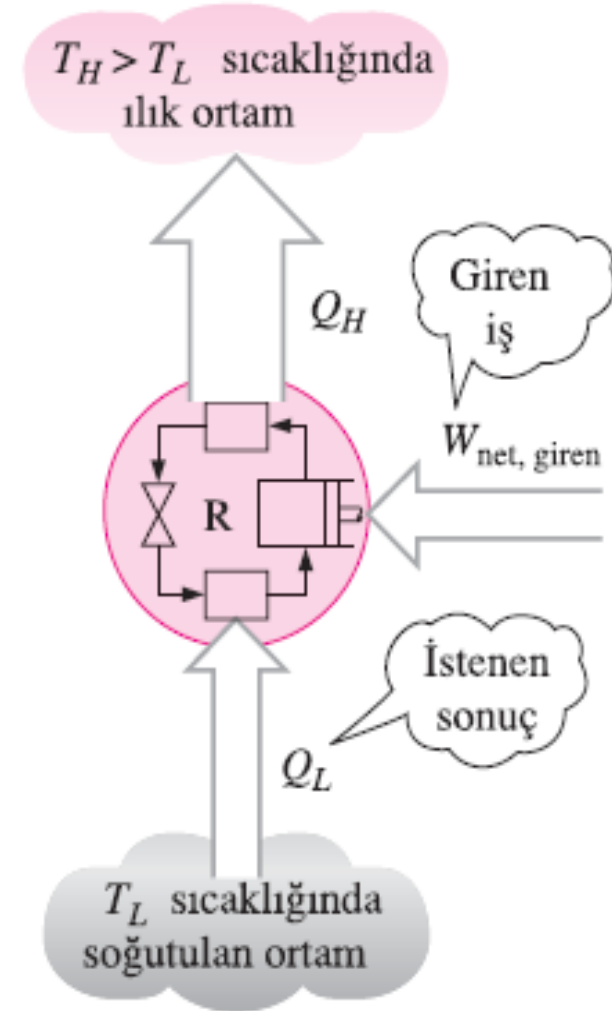
a) Buzdolabının etkinlik katsayısını bulunuz? (COP(SM)) = ?

b) Buzdolabının bulunduğu odaya atılan ısı miktarını bulunuz? ($Q_H = ?$)

$$a) \text{COP(SM)} = \frac{Q_L}{W_{\text{net,giren}}} = \frac{360 \text{ kJ}}{2 \text{ kW} \cdot \frac{1 \text{ dk}}{60 \text{ s}}} = 3$$

b) $Q_H = Q_L + W_{\text{net,giren}}$

$$Q_H = \frac{360 \text{ kJ}}{1 \text{ dk}} + 2 \text{ kW} \cdot \frac{1 \text{ dk}}{60 \text{ s}} = 480 \frac{\text{kJ}}{\text{dk}}$$



ISI POMPASI

Çevrim gerçekleştirerek çalışır.

4 ana elemanı: Yoğuşturucu, kompresör, buharlaştırıcı, kısılma vanası

Çevrimde kullanılan akışkana soğutucu akışkanı denir.

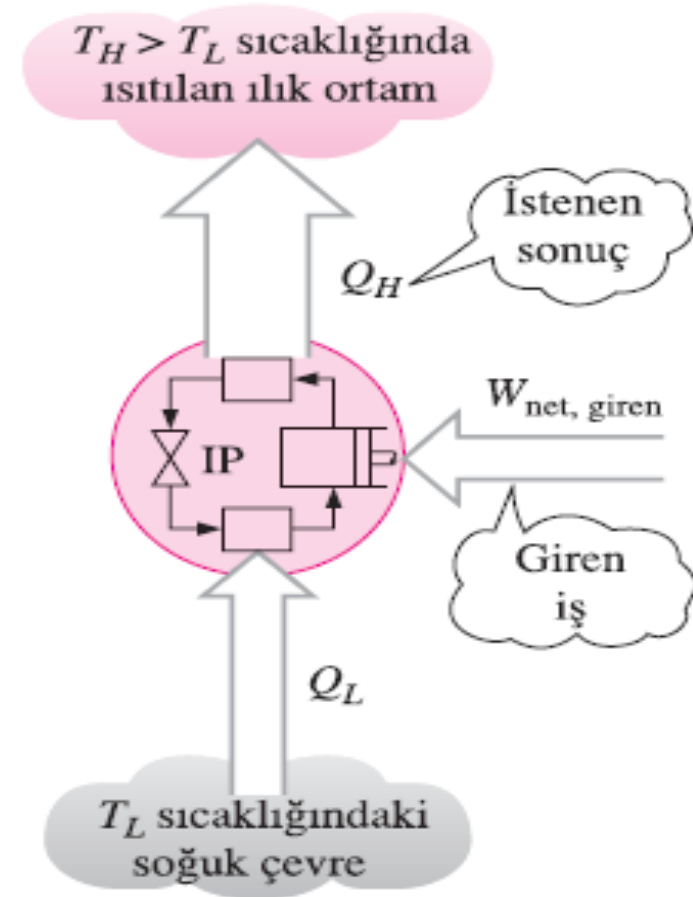
Verim, etkinlik katsayısı COP(IP) olarak ifade edilir. $COP(IP) > 1$ olabilir.

Kullanım amacı iş yaparak ortama ısı vermektir.

$$COP(IP) = \frac{Q_H}{W_{net,giren}} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L}$$

Her 2 tarafı Q_H ile bölelim.

$$COP(IP) = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}}$$



Kompresör, yoğuşturucu, kısılma vanası ve buharlaştırıcı ile soğutucu akışkanın nın kullanıldığı çevrimi ısı pompası olarak kullandığımızda **harcamış olduğumuz iş enerjisinden daha fazla miktardaki ısı enerjisini** bir ortama vererek o ortamı ısıtabiliyoruz.

Amaç: İş enerjisi harcayarak bir ortama ısı verip o ortamı ısıtmak

Bu durumu açıklayan terim: Etkinlik katsayısı COP_{IP}

Sonuç: $COP_{IP} > 1$

Örnek: $COP_{IP} = 9$ ise harcamış olduğumuz iş enerjisinin 9 katı büyüklüğünde ısı enerjisini bir ortama verebiliyoruz.

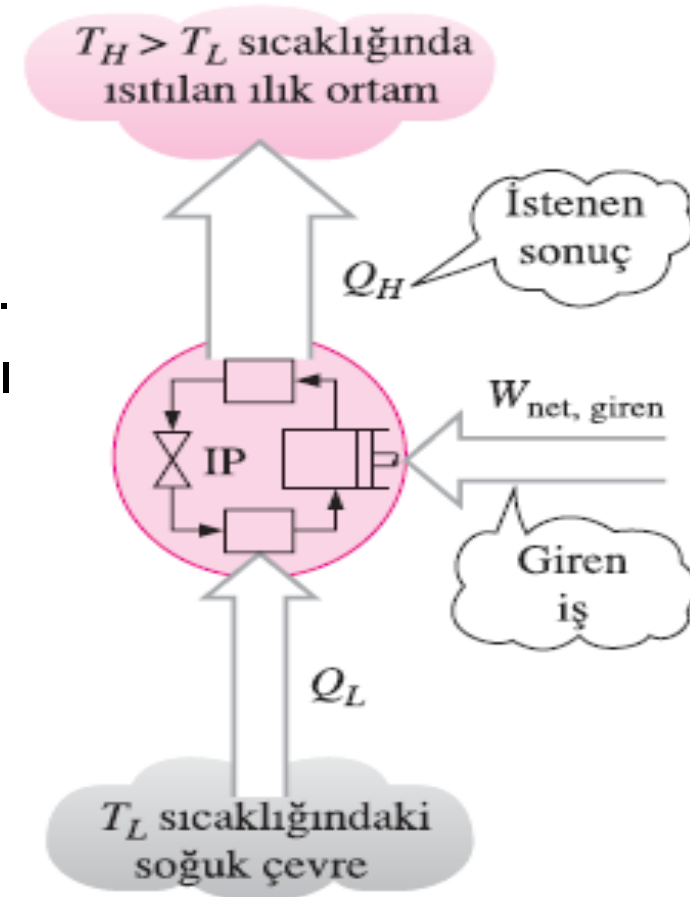
Yani daha az iş harca, böylece daha çok ısıyı bir ortama vererek o ortamı ısıt.

ÖRNEK (ISI POMPASI)

Bir evin ısıtılması için ısı pompası kullanılmakta ve bu ısı pompası evin sıcaklığını 20 oC'de tutmaktadır. Dış ortam sıcaklığının -2 oC sıcaklığına düştüğü bir gün evin ısı kaybının 1 saatte 80000 kJ olduğu tahmin edilmektedir. Bu koşullarda ısı pompasının etkinlik katsayısı değeri $COP(IP) = 2.5$ ise ;

- Isı pompasının harcadığı gücü bulunuz?
- Dış ortamdan birim zamanda çekilen ısıyı bulunuz? ($Q_L = ?$)

$T_H > T_L$ sıcaklığında Isıtılan ılık ortam : ev
 T_L sıcaklığında soğuk çevre : dış ortam



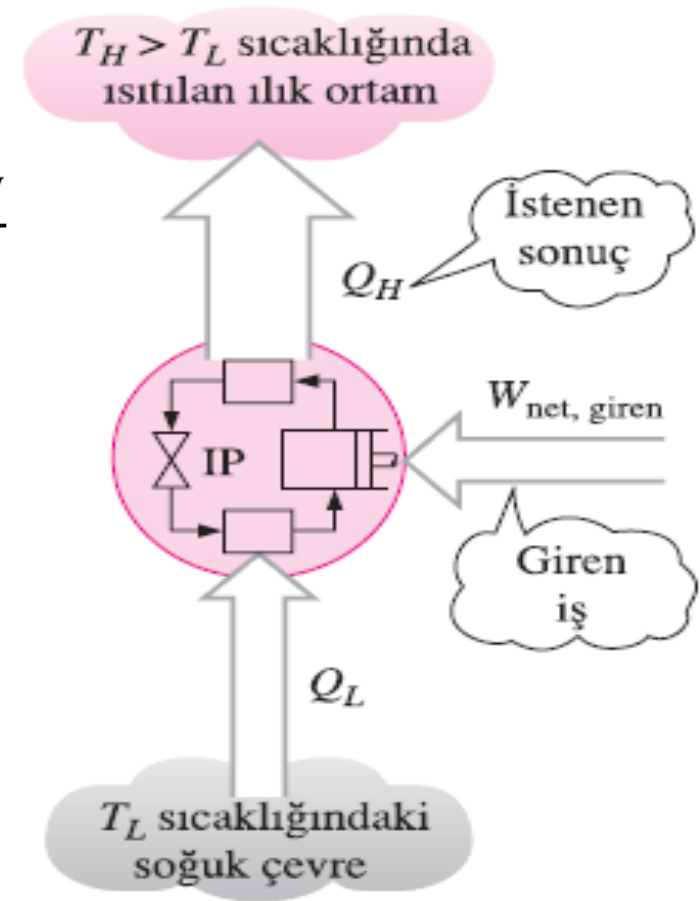
$$a) COP(IP) = \frac{Q_H}{W_{net,giren}}$$

$$W_{net,giren} = \frac{Q_H}{COP(IP)} = \frac{80000}{2.5} = 32000 \frac{kJ}{h}$$

$$b) Q_H = Q_L + W_{net,giren}$$

$$80000 = Q_L + 32000$$

$$Q_L = 48000 \frac{kJ}{h}$$



*T1Y ile, ısı enerjisi ile iş enerjisinin birbirine **denk** enerjiler olduğunu anlıyorduk. Ancak;

*T2Y ile iş enerjisinin ısı enerjisinden **daha nitelikli** bir enerji şekli olduğunu görüyoruz.

1)Isı makineleri ile daha çok ısı harcayıp daha az iş elde ediyoruz.

2)Soğutma makineleri ile **daha az iş enerjisi harcayıp** daha çok ısı enerjisi çekiyoruz.

3)Isı pompaları ile daha az iş enerjisi harcayıp daha çok ısı enerjisi bir ortama aktarıyoruz.

Demek ki enerjinin niceliği yani sayısal büyüklüğünden ziyade niteliği daha önemlidir. İş, ısı dan daha nitelikli bir enerji şeklidir.

T2Y bize bunu öğretiyor.

ÖDEV :

800000 kW'lık net iş üreten bir merkezi ısıtma sistemi, 585 K sıcaklığındaki buhar üretim jeneratörü ile 295 K sıcaklığında bulunan bir nehir arasında çalışmaktadır. Eğer termal verim 0.347 ise, güç üretimi yapılırken (elektrik üretilirken) ne kadarlık bir ısı nehre atılmaktadır, hesaplayınız?

NOT: T2Y için günlük hayatla ilgili bir bilgi verebilerseniz sevinirim.

ISI MAKİNALARI (ISI ----->iş)

Çevrim gerçekleştirerek çalışır.

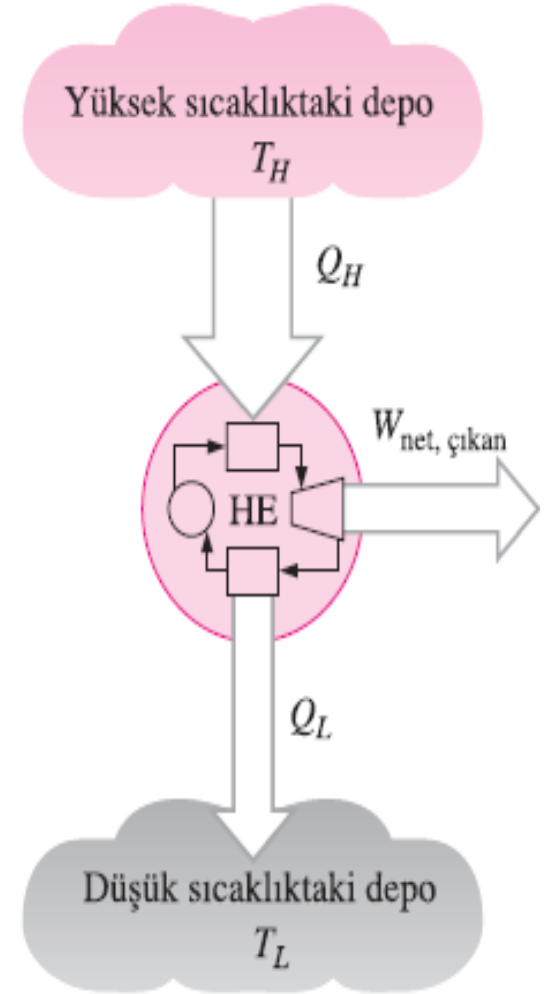
4 ana elemanı: Kazan, türbin, yoğuşturucu, pompa

Çevrimde kullanılan akışkana iş akışkanı denir.

Verim, η verim, ısı verim olarak ifade edilir ve daima 1 den küçüktür. η verim < 1

Kullanım amacı ısı enerjiden iş elde etmektir.

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



SOĞUTMA MAKİNASI (iş -----> ISI)

Çevrim gerçekleştirerek çalışır.

4 ana elemanı: Yoğuşturucu, kompresör, buharlaştırıcı, kısılma vanası

Çevrimde kullanılan akışkana soğutucu akışkanı denir.

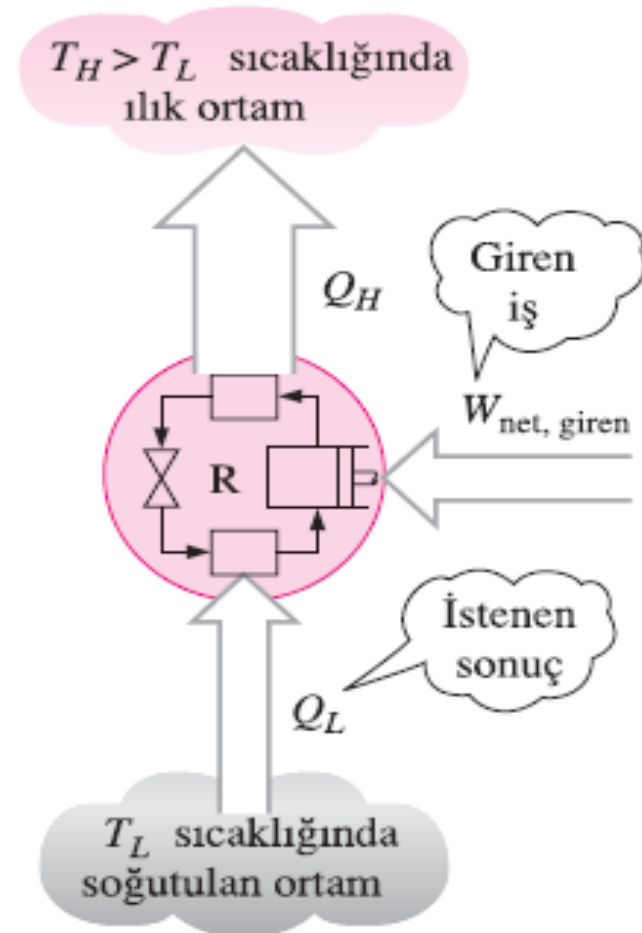
Verim, etkinlik katsayısı COP(SM) olarak ifade edilir. $COP(SM) > 1$ olabilir.

Kullanım amacı iş yaparak ortamdan ısı çekmektir.

$$COP(SM) = \frac{Q_L}{W_{net,giren}} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L}$$

Her 2 tarafı Q_L ile bölelim.

$$COP(SM) = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1}$$



ISI POMPASI (iş -----> ISI)

Çevrim gerçekleştirerek çalışır.

4 ana elemanı: Yoğuşturucu, kompresör, buharlaştırıcı, kısılma vanası

Çevrimde kullanılan akışkana soğutucu akışkanı denir.

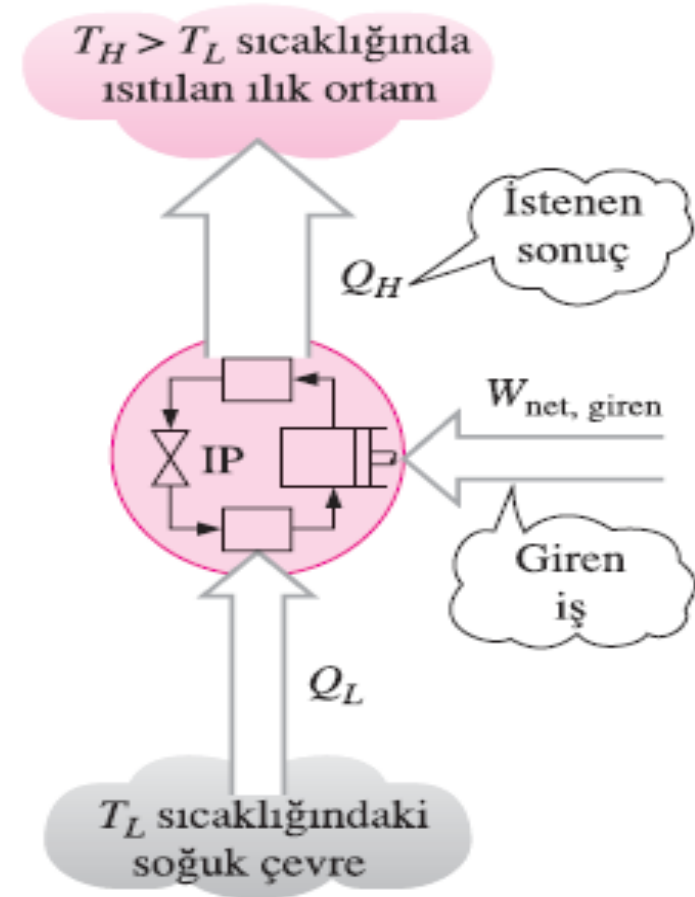
Verim, etkinlik katsayısı COP(IP) olarak ifade edilir. $COP(IP) > 1$ olabilir.

Kullanım amacı iş yaparak ortama ısı vermektir.

$$COP(IP) = \frac{Q_H}{W_{net,giren}} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L}$$

Her 2 tarafı Q_H ile bölelim.

$$COP(IP) = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}}$$



*T1Y ile, ısı enerjisi ile iş enerjisinin birbirine **denk** enerjiler olduğunu anlıyorduk. Ancak;

*T2Y ile iş enerjisinin ısı enerjisinden **daha nitelikli** bir enerji şekli olduğunu görüyoruz.

1)Isı makineleri ile **daha çok ısı enerjisi harcıyıp daha az iş enerjisi** elde ediyoruz.

2)Soğutma makineleri ile **daha az iş enerjisi harcıyıp daha çok ısı enerjisi** çekiyoruz.

3)Isı pompaları ile **daha az iş enerjisi harcıyıp daha çok ısı enerjisi** bir ortama aktarıyoruz.

Demek ki enerjinin niceliği yani sayısal büyüklüğünden ziyade niteliği daha önemlidir. İş, ısı dan daha nitelikli bir enerji şeklidir.

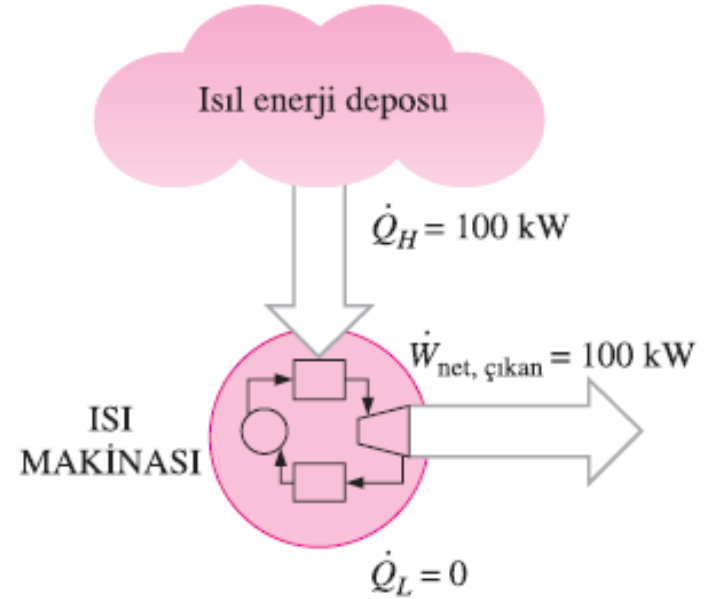
T2Y bize bunu öğretiyor.

Termodinamiğin İkinci Yasası: Kelvin-Planck İfadesi

Termodinamik bir çevrim gerçekleştirerek çalışan bir makinenin, yalnızca bir kaynaktan ısı alıp net iş üretmesi olanaksızdır.

Hiçbir ısı makinesinin ısı verimi yüzde 100 olamaz veya bir güç santralinin sürekli çalışabilmesi için iş akışkanının hem kazanla, hem de çevreyle ısı alışverişinde bulunması gerekir.

Bir ısı makinesinin yüzde 100 ısı verime sahip olamamasının, sürtünmeler veya diğer kayıplardan kaynaklanmadığı vurgulanmalıdır. Çünkü bu sınırlama gerçek ısı makineleri kadar, ideal ısı makineleri için de geçerlidir. .



İkinci yasanın Kelvin-Planck ifadesine aykırı bir ısı makinesi.

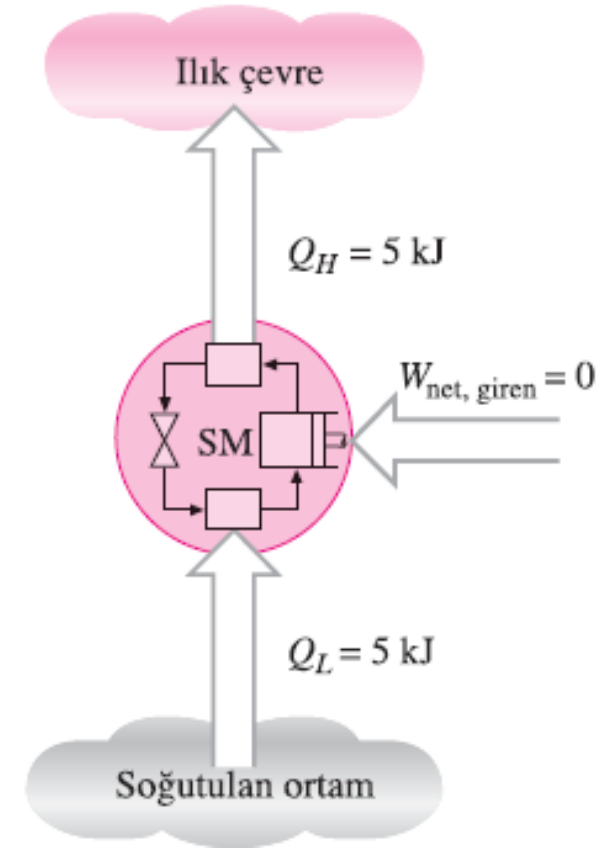
Termodinamiğin İkinci Yasası: Clausius İfadesi

Termodinamik bir çevrim gerçekleştirerek çalışan ve düşük sıcaklıktaki bir cisimden aldığı ısıyı yüksek sıcaklıktaki bir cisme aktarmak dışında hiçbir enerji etkileşiminde bulunmayan bir makine tasarlamak olanaksızdır.

Buzdolabının kompresörüne bir elektrik motoru gibi herhangi bir dış güç kaynağı yoluyla iş girişi olmadan, buzdolabının kendiliğinden çalışamayacağı anlamına gelir.

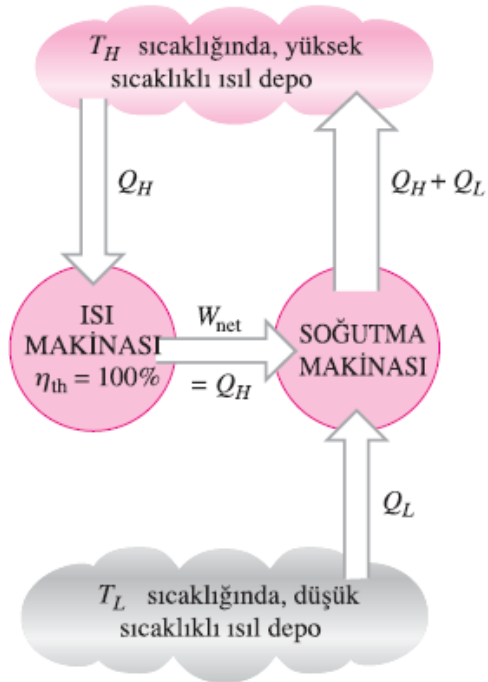
Böylece çevrimin çevre üzerindeki net etkisi, ısının daha soğuk bir cisimden daha sıcak olana aktarılması yanında, iş biçiminde bir miktar enerji tüketmesidir.

Bugüne kadar ikinci yasaya aykırı bir deney yapılamamıştır. Bu da ikinci yasanın geçerliliğinin yeterli bir kanıtıdır.

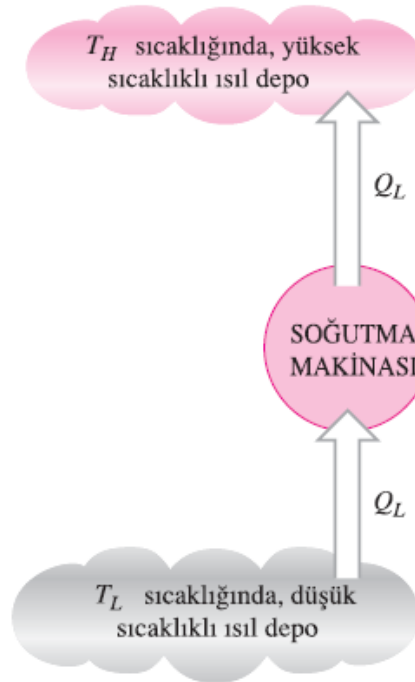


İkinci yasanın Clausius ifadesine aykırı bir soğutma makinesi.

İki İfadenin Eş anlamlılığı



%100 verimli ısı makinası ile desteklenen bir soğutucu

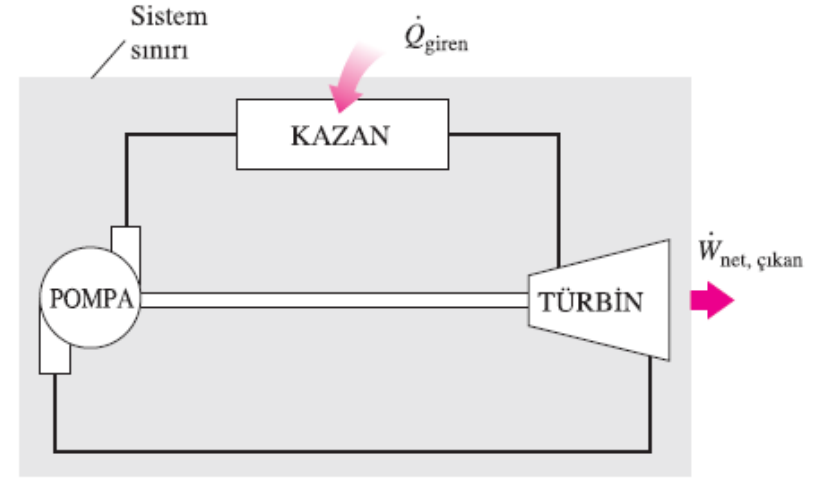
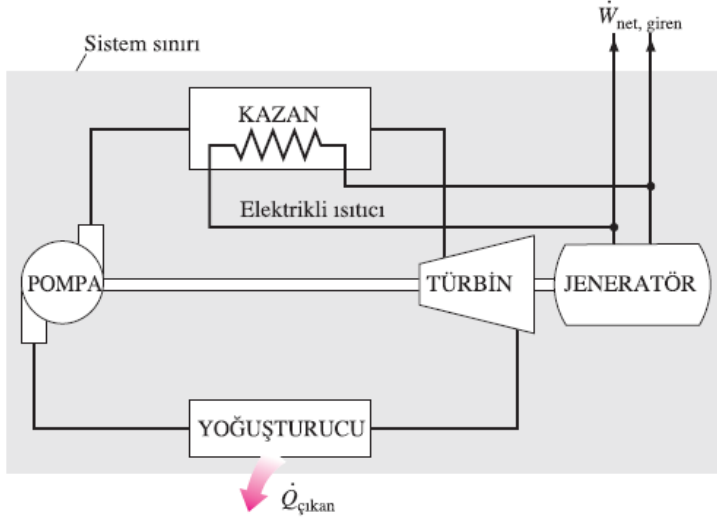


E de er soğutucu

Kelvin-Planck ifadesine aykırı bir durumun Clausius ifadesine de aykırı olacağının kanıtı.

Kelvin-Planck ve Clausius ifadeleri sonuçları bakımından birbirinin eşdeğeri olup, her ikisi de termodinamiğin ikinci yasasının ifadesi olarak kullanılırlar. İfadelerden birine aykırı olan herhangi bir makine veya çevrim, diğerine de aykırıdır.

DEVİRDAIM MAKİNELERİ



Termodinamiğin birinci yasasına aykırı bir devridaim makinesi (DDM1).

Termodinamiğin ikinci yasasına aykırı bir devridaim makinesi (DDM2).

Devridaim makinesi : Birinci ve ikinci yasalardan herhangi birine aykırı olan makinelerdir.

Birinci yasaya aykırı olan (yani yoktan enerji var eden) makinelere **(DDM1)**, ikinci yasaya aykırı makinelere de **(DDM2) denir.**

Devridaim makinesi yapmaya yönelik sayısız girişim olmasına karşın, bunlardan hiçbiri başarılı olamamıştır.

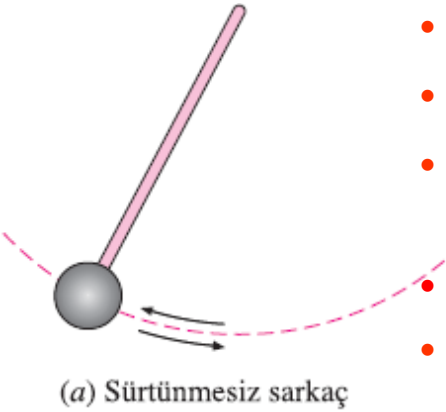
Eğer bir şey gerçek olamayacak kadar iyi ise, büyük olasılıkla öyledir.

TERSİNİR VE TERSİNMEZ HAL DEĞİŞİMLERİ

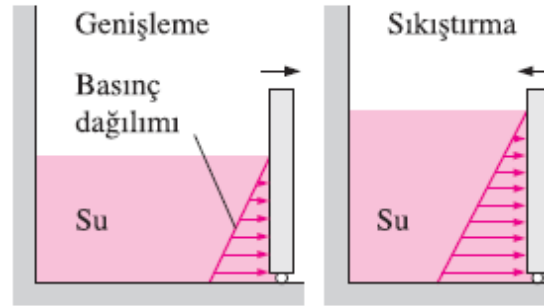
Tersinir hal değişimi: Çevrede herhangi bir iz bırakmadan tersi yönde gerçekleştirilebilen bir hal değişimi olarak tanımlanır.

Tersinmez hal değişimi: Tersinir olmayan hal değişimlerine denir.

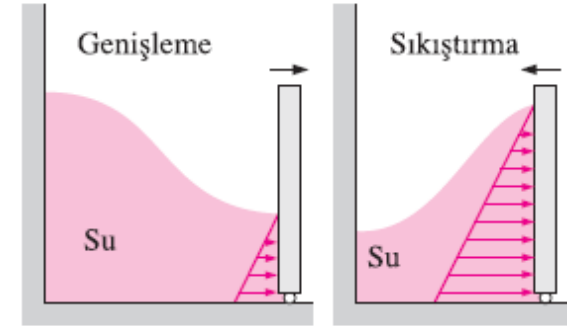
- Doğada tersinir hal değişimlerine rastlanmaz.
- *Neden tersinir hal değişimleriyle uğraşırız ?*
- **(1) İncelemek kolaydır ve (2) Gerçek hal değişimlerinin karşılaştırılabileceği ideal modeller (kuramsal limitler) oluştururlar.**
- Bazı hal değişimleri diğerlerine göre daha çok tersinmezdir.
- Tersinir hal değişimlerini tahmin etmeye çalışırız. **Niçin?**



(b) Bir gazın sanki-dengeli genişlemesi ve sıkıştırılması



(a) Yavaş (tersinir) hal değişimi



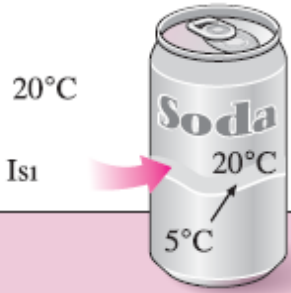
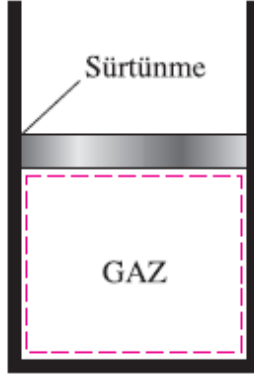
(b) Hızlı (tersinmez) hal değişimi

Bilinen iki tersinir hal değişimi.

En çok iş, tersinir hal değişimleri sırasında yapılır. En az iş, tersinir hal değişimleri sırasında gerekir.

Tersinmezlikler

Sürtünme, bir hal değişimini tersinmez yapar.



(a) Tersinmez ısı geçişi



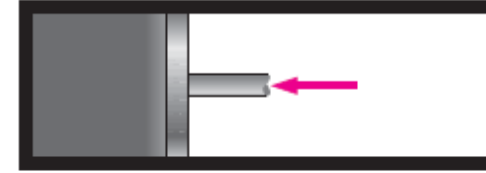
(b) Gerçekleşmesi olanaksız ısı geçişi

(a) Sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi tersinmezdir
(b) soğuk ortamdan sıcak ortama kendiliğinden ısı geçişi olanaksızdır.

• 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 etkenler arasındadır.

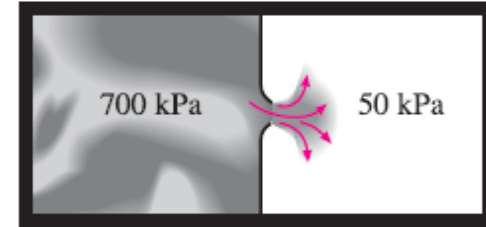
• Bu etkenlerden herhangi birinin varlığı, hal değişimini tersinmez yapar.



(a) Hızlı sıkıştırma



(b) Hızlı genişleme

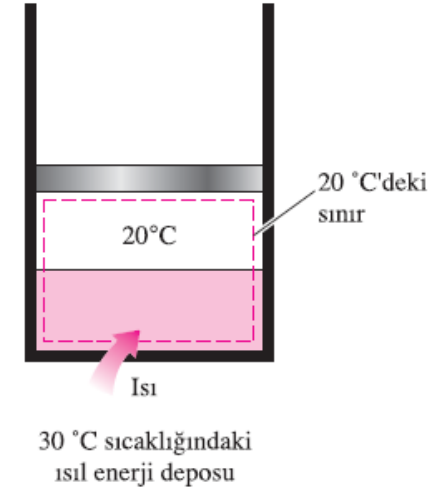
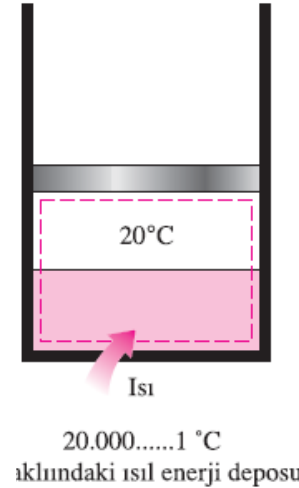
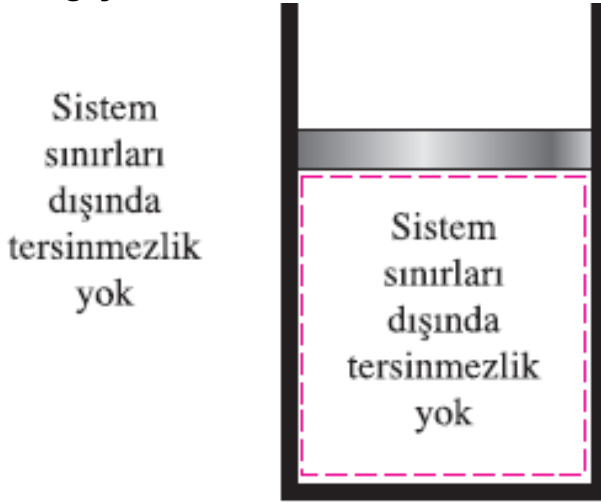


(c) Kontrolsüz genişleme

Tersinmez sıkıştırma ve genişleme işlemleri.

İçten ve Dıştan Tersinir Hal Değişimleri

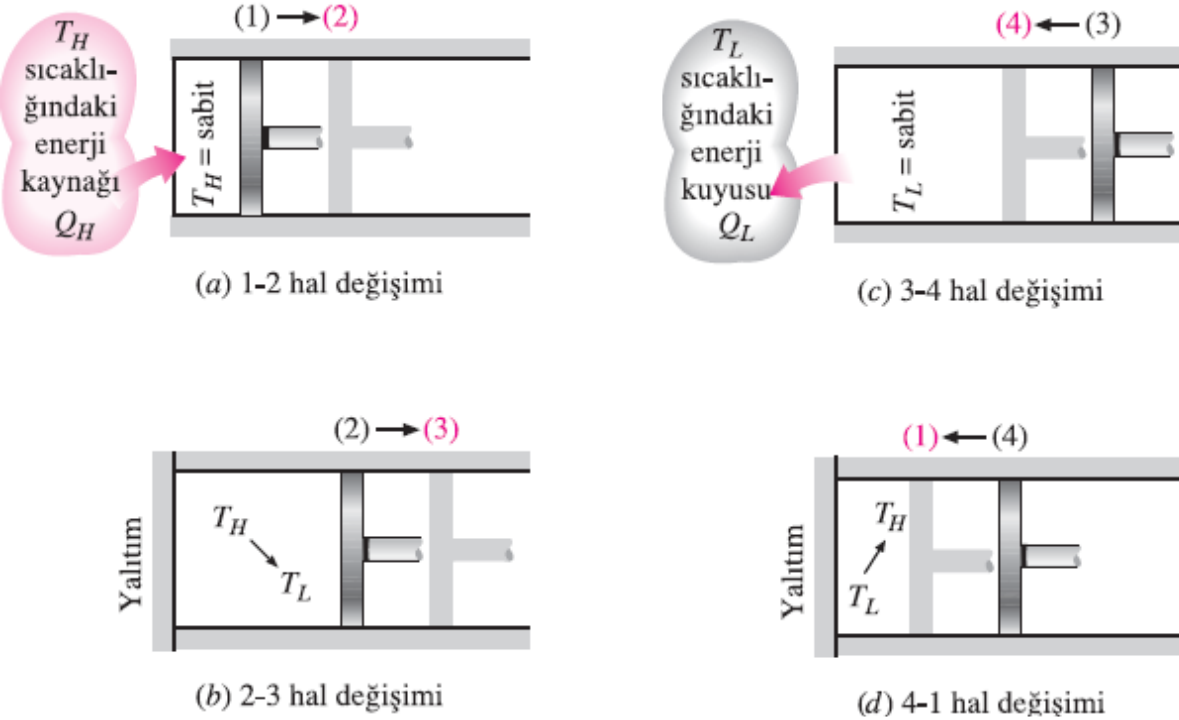
- **İçten tersinir hal değişimi** : Hal değişimi sırasında sistemin sınırları içinde tersinmezlikler meydana gelmiyorsa.
- **Dıştan tersinir hal değişimi** : Sistemin sınırları dışında tersinmezlikler meydana gelmiyorsa
- **Tümden tersinir hal değişimi** : Sistemin sınırları içinde ve ilişkide olduğu çevrede tersinmezlikler meydana gelmiyorsa
- Tümden tersinir bir hal değişiminde sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi, sanki-dengeli olmayan değişimler, sürtünme ve benzer olgular yoktur.



Tümden ve içten tersinir ısı geçişi.

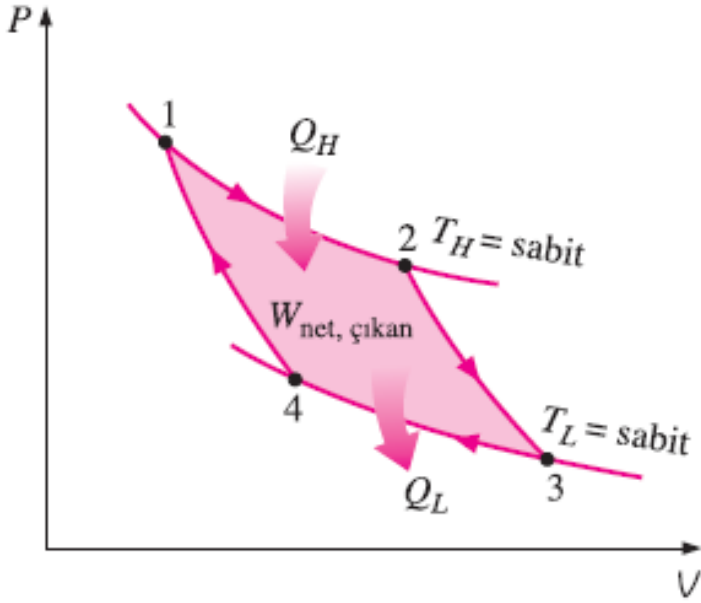
Tersinir bir hal değişiminde sistem sınırları içinde ve dışında tersinmezlikler yoktur.

CARNOT ÇEVİRİMİ

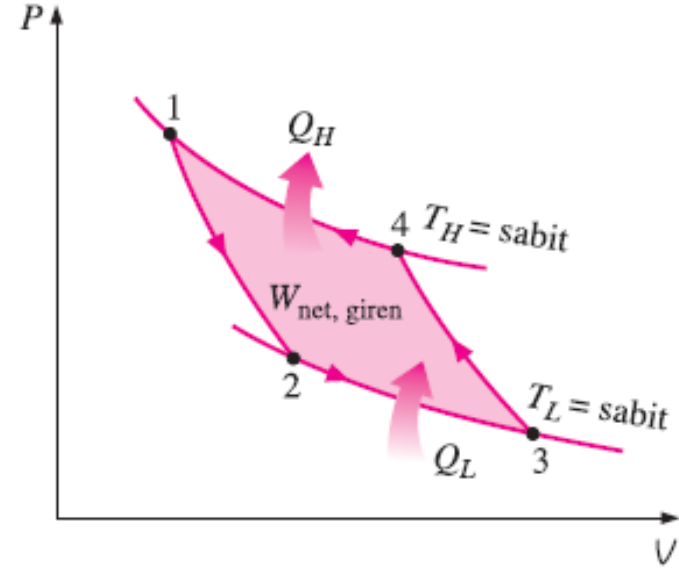


Carnot çevriminin kapalı bir sistemde gerçekleştirilişi.

- Tersinir sabit sıcaklıkta genişleme** (1-2 hal değişimi, $T_H = \text{sabit}$)
- Tersinir adyabatik genişleme** (2-3 hal değişimi, sıcaklık T_H 'den T_L 'ye düşmektedir)
- Tersinir sabit sıcaklıkta sıkıştırma** (3-4 hal değişimi, $T_L = \text{sabit}$)
- Tersinir adyabatik sıkıştırma** (4-1 hal değişimi, sıcaklık T_L 'den T_H 'ye yükselmektedir)



Carnot çevriminin P - V diyagramı.



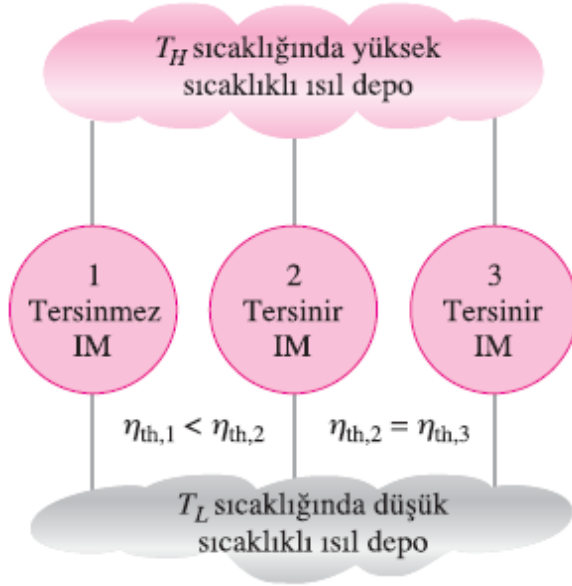
Ters Carnot çevriminin P - V diyagramı.

Ters Carnot Çevrimi

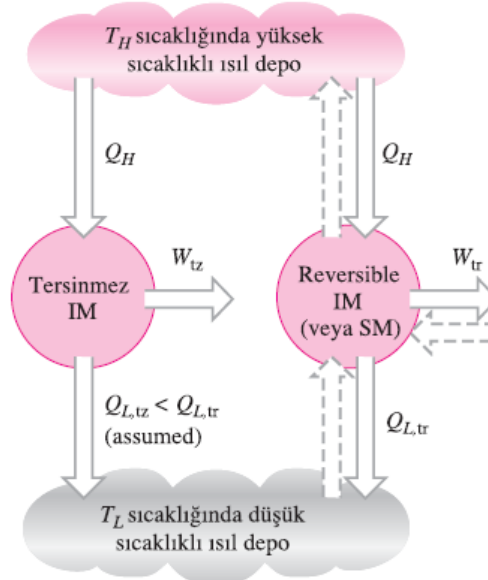
Carnot ısı makinesi çevrimi **tümden tersinir bir çevrimdir.**

Onu oluşturan tüm hal değişimleri ters yönde gerçekleştirilebilir. Bu durumda **Carnot soğutma makinesi çevrimi** elde edilir.

CARNOT İLKELERİ



Carnot ilkeleri



(a) Aynı ısı depolar arasında çalışan tersinir ve tersinmez ısı makineleri (tersinir ısı makinesi daha sonra soğutma makinesi olarak çalıştırılmaktadır).

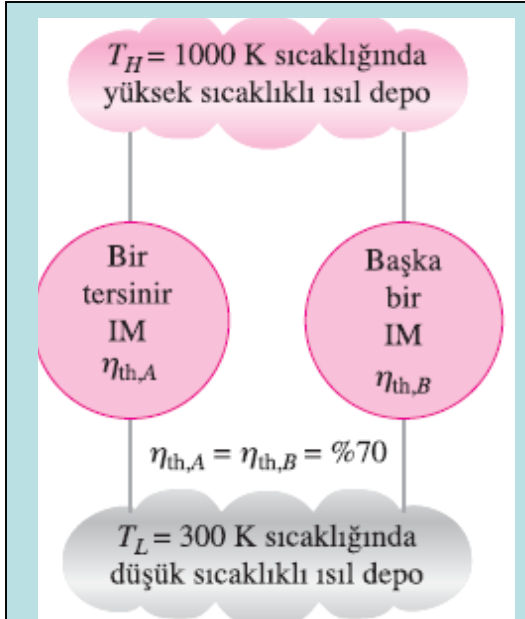


(b) Eşdeğer birleşik sistem.

Birinci Carnot ilkesinin kanıtlanması.

1. Aynı iki ısı depo arasında çalışan iki ısı makinesinden, tersinmez olanın verimi her zaman tersinir olanın veriminden küçüktür.
2. Aynı iki ısı depo arasında çalışan bütün tersinir ısı makinelerinin verimleri eşittir.

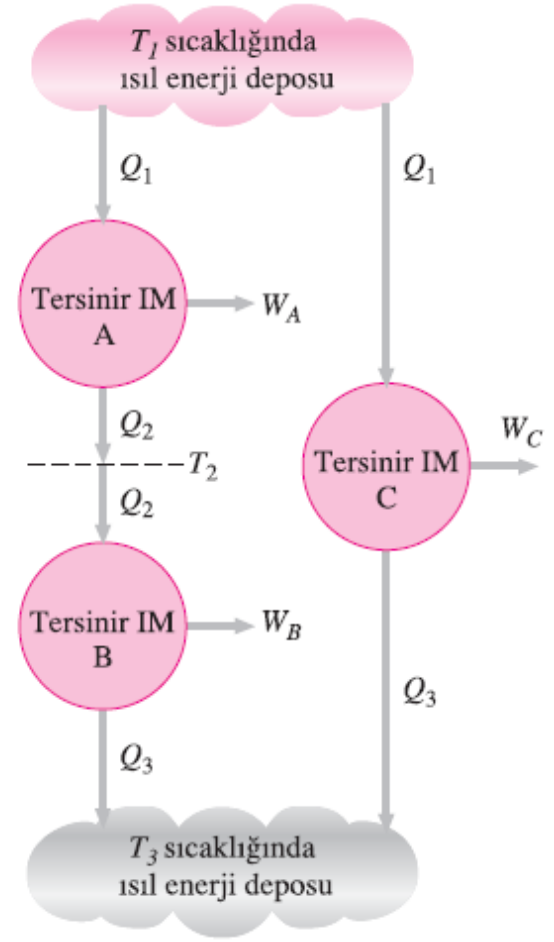
TERMODİNAMİK SICAKLIK ÖLÇEĞİ

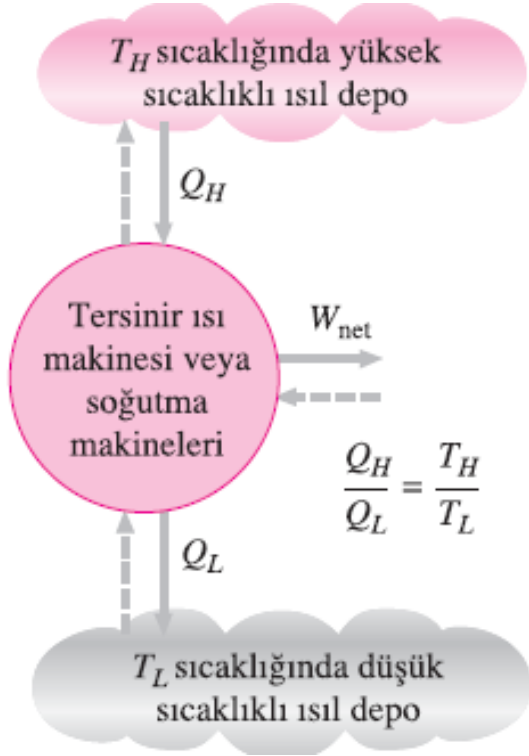


Aynı ısı depolar arasında çalışan tüm tersinir ısı makinelerinin verimi eşittir.

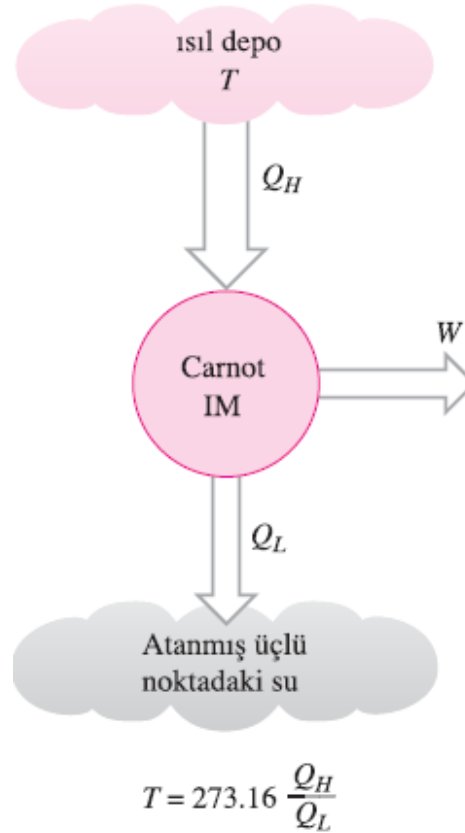
Sıcaklığı ölçmek için kullanılan maddelerin özelliklerinden bağımsız olan sıcaklık ölçeğine **termodinamik sıcaklık ölçeği** adı verilir. Bu tür bir sıcaklık ölçeği, termodinamik hesaplarda büyük kolaylık sağlar.

Termodinamik sıcaklık ölçeğini geliştirmek için kullanılan ısı makinelerinin düzeni.





Tersinir çevrimlerde ısı geçişi oranı Q_H/Q_L , mutlak sıcaklık oranı T_H/T_L 'ye eşittir.



Q_H ve Q_L ölçülerek Kelvin ölçeğinde termodinamik sıcaklıkları belirlemeye yönelik kavramsal deney düzeneği.

$$\left(\frac{Q_H}{Q_L}\right)_{tr} = \frac{T_H}{T_L}$$

Bu sıcaklık ölçeği **Kelvin ölçeği** olarak adlandırılır ve bu ölçeğe göre sıcaklıklara **mutlak sıcaklıklar** denir.

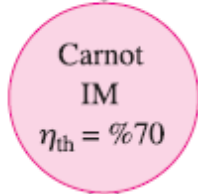
$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273.15$$

CARNOT ISI MAKİNESİ

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

$T_H = 1000$ K sıcaklığında yüksek sıcaklıklı ısı depo

Q_H



$W_{net,çıkan}$

Q_L

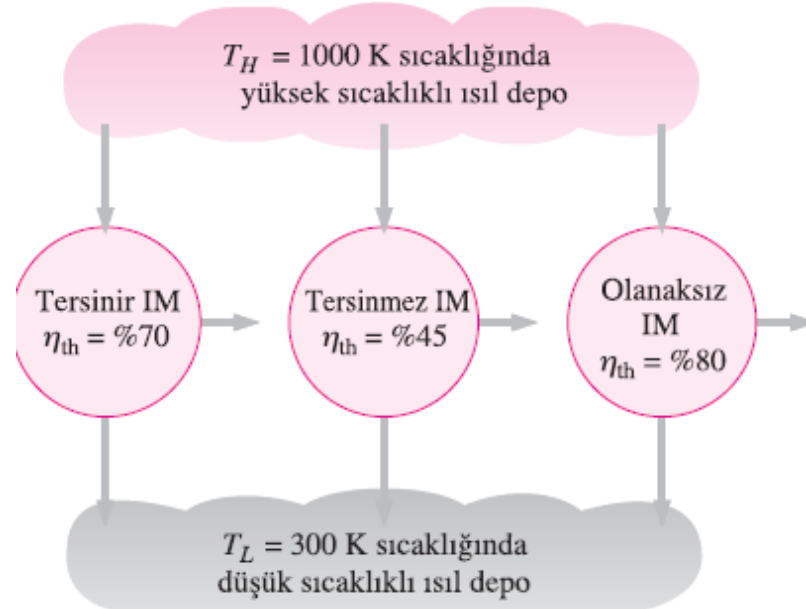
$T_L = 300$ K sıcaklığında düşük sıcaklıklı ısı depo

Herhangi bir ısı makinesi

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

Carnot ısı makinesi

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



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

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

ÖRNEK

Bir Carnot ısı makinası 652 oC sıcaklıktaki yüksek sıcaklıklı bir kaynaktan çevrim başına 500 kJ enerji almakta ve 30 oC sıcaklıktaki düşük sıcaklıklı bir kuyuya ısı vermektedir.

a) Bu Carnot makinasının ısı verimini bulunuz?

b) Kuyuya bir çevrim başına atılan ısı miktarını belirleyiniz?

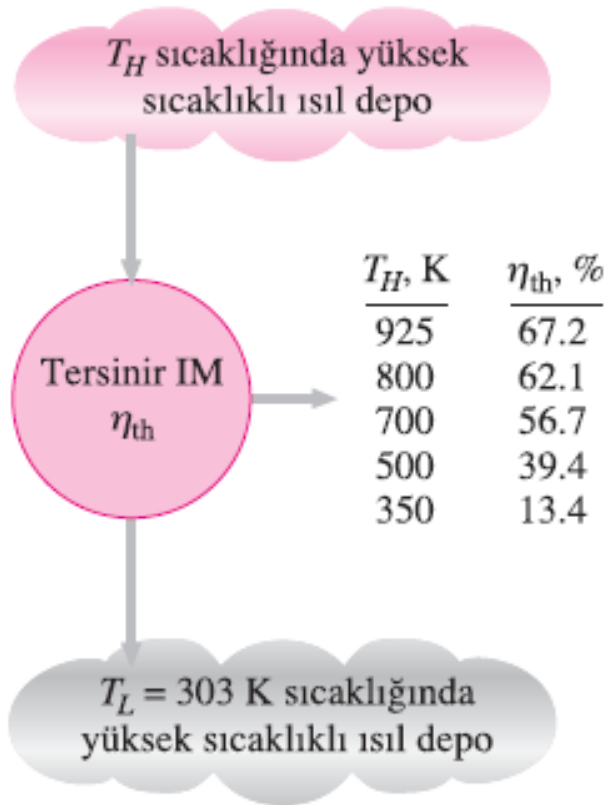
c) Net işi bulunuz?

$$a) \quad \eta \text{ tersinir, carnot} = \eta_{tr, c} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{(30+273)}{(652+273)} = 0.672$$

$$b) \quad \frac{Q_L}{Q_H} = \frac{T_L}{T_H} \quad \text{ise ; } Q_L = Q_H \cdot \frac{T_L}{T_H} = 500 * \frac{(30+273)}{(625+273)} = 164 \text{ kJ}$$

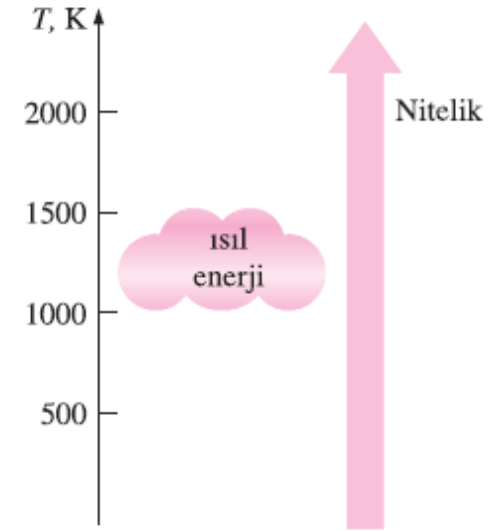
$$c) \quad W_{net} = 500 * 0.672 = 336 \text{ kJ}$$

Enerjinin Niteliği



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

Burada sıcaklık için °C birimi kullanabilir miyiz?

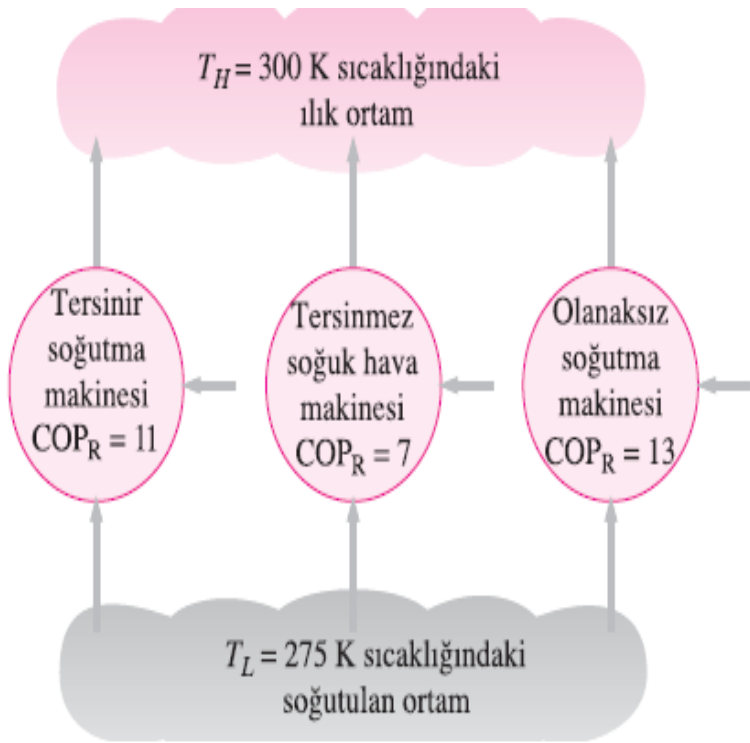


Isıl enerjinin sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, niteliği de o kadar yüksek olur.

Kaynak sıcaklığına bağlı olarak ısının işe dönüşme oranı.

Carnot ısı makinesinin ısı verimini nasıl arttırabilirsiniz? Gerçek ısı makineleri için ne dersiniz?

CARNOT SOĞUTMA MAKİNESİ VE ISI POMPASI



Herhangi bir soğutma makinesi veya ısı pompası

$$COP_R = \frac{1}{Q_H/Q_L - 1}$$

$$COP_{HP} = \frac{1}{1 - Q_L/Q_H}$$

Carnot soğutma makinesi veya ısı pompası

$$COP_{SM, tr} = \frac{1}{T_H/T_L - 1}$$

$$COP_{IP, tr} = \frac{1}{1 - T_L/T_H}$$

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?

ÖRNEK

Bir mucit 25 oC sıcaklıktaki bir odada çalışırken, soğutulan hacmi 2 oC de tutulan ve etkinlik katsayısı 13.5 olan bir buzdolabı geliştirdiğini iddia etmektedir. Bu iddia doğrumu dur?

$$\text{COP}(\text{SM,max}) = \text{COP}(\text{SM,tr}) = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1} = \frac{1}{\frac{(25+273)}{(2+273)} - 1} = 12$$

13.5 > 12 olduğuna göre; iddia doğru değildir.

ÖRNEK

Bir evi ısıtmak için ısı pompası kullanılmaktadır. Evin içi sürekli olarak 21 oC'de tutulmaktadır. Dışarıda sıcaklık -5 oC iken evin ısı kaybının 135000 kJ/h olduğu tahmin edilmektedir. Isı pompasını çalıştırmak için en az ne kadar güç gerekir?

$$\text{COP}(\text{IP}, \text{max}) = \text{COP}(\text{IP}, \text{tr}) = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}} = \frac{1}{1 - \frac{(-5+273)}{(21+273)}} = 11.3$$

$$W_{\text{net, giren}} = \frac{Q_H}{\text{COP}(\text{IP})} = \frac{37.5}{11.3} = 3.32 \text{ kW}$$

$$Q_H = 135000 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 37.5 \text{ kW}$$

13. HAFTA ÖDEVİ

1) Bir araştırmacı, 400 K sıcaklıktaki bir ısı kaynağından 100×10^6 J (Yüz milyon Joule) ısı alan ve bu ısının 40×10^6 J (Kırk milyon Joule) ünü 250 K sıcaklıktaki bir ısı kuyusuna aktaran ve böylece 15 kWh iş üreten bir ısı makinesi geliştirdiğini iddia etmektedir. Bu iddia doğru olabilir mi? (**Sebebi ile izah edilmelidir**)

2) Bir mucit, -14 °C sıcaklıkta tutulan kapalı bir ortamdan ısı çekerek 22 °C sıcaklıktaki çevre havaya bu ısıyı veren ve COP_{SM} değeri 8.5 olan bir soğutma makinası geliştirdiğini iddia etmektedir. Bu iddia doğru olabilir mi? (**Sebebi ile birlikte izah edilmelidir.**)

TERSİNİR VE TERSİNMEZ HAL DEĞİŞİMLERİ

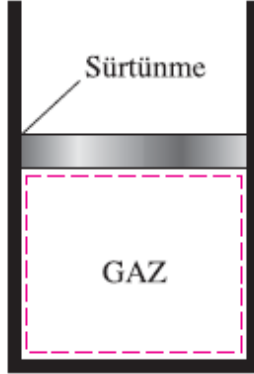
Tersinir hal değişimi: Çevrede herhangi bir iz bırakmadan tersi yönde gerçekleştirilebilen bir hal değişimi olarak tanımlanır.

Tersinmez hal değişimi: Tersinir olmayan hal değişimlerine denir.

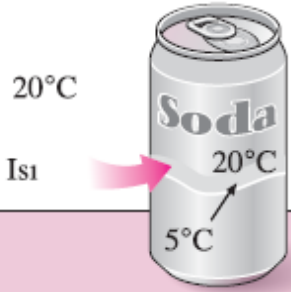
- Doğada tersinir hal değişimlerine rastlanmaz.
- *Neden tersinir hal değişimleriyle uğraşırız ?*
- İncelemek kolaydır
- Gerçek hal değişimlerinin karşılaştırılabileceği ideal modeller (kuramsal limitler) oluştururlar.
- Bazı hal değişimleri diğerlerine göre daha çok tersinmezdir.
- Tersinir hal değişimlerini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

Tersinmezlikler

Sürtünme, bir hal değişimini tersinmez yapar.



Sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi tersinmezdir



(a) Tersinmez ısı geçişi

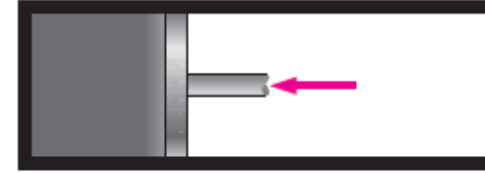


(b) Gerçekleşmesi olanaksız ısı geçişi

• 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

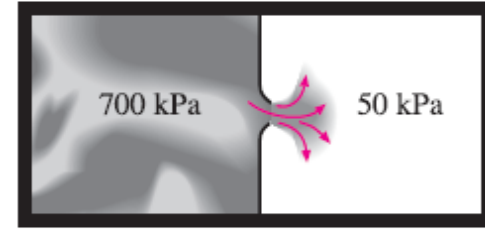
• Bu etkenlerden herhangi birinin varlığı, hal değişimini **tersinmez** yapar.



(a) Hızlı sıkıştırma

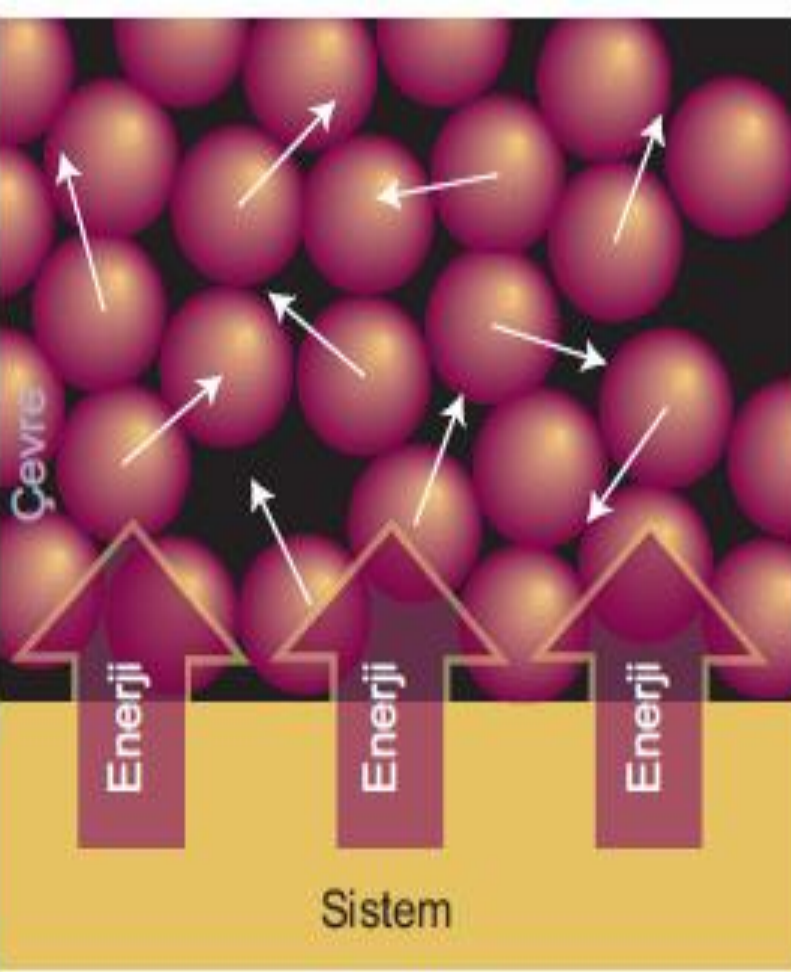


(b) Hızlı genişleme

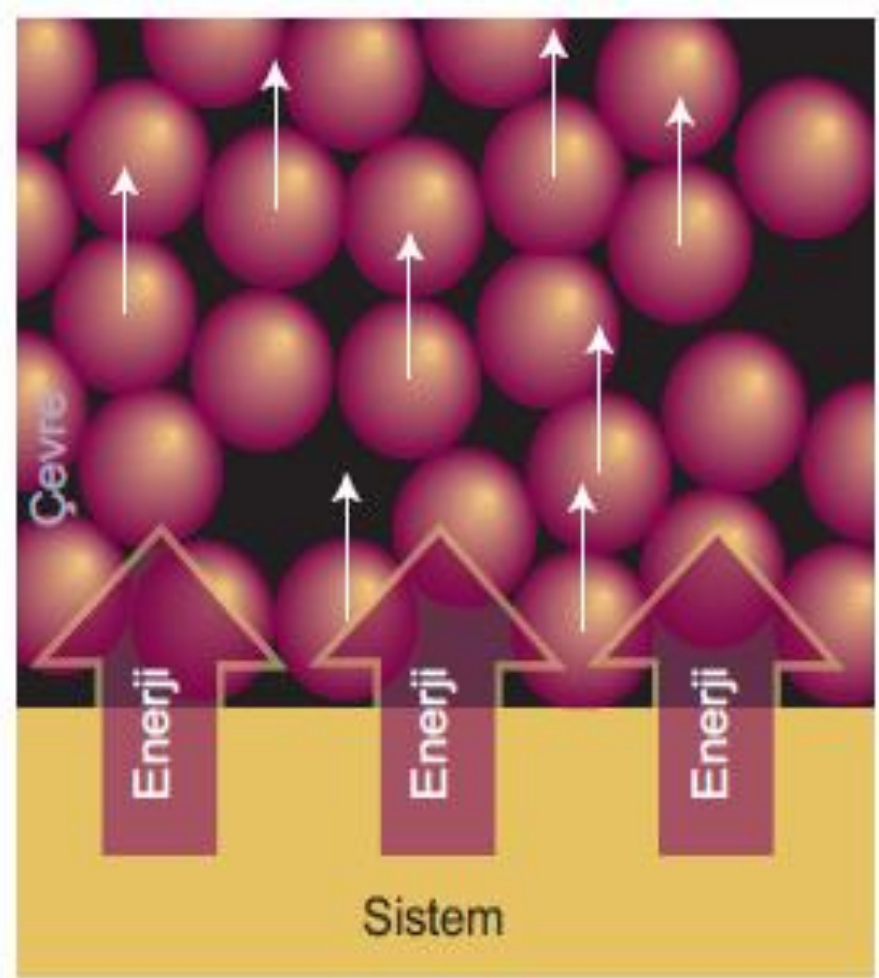


(c) Kontrolsüz genişleme

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

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

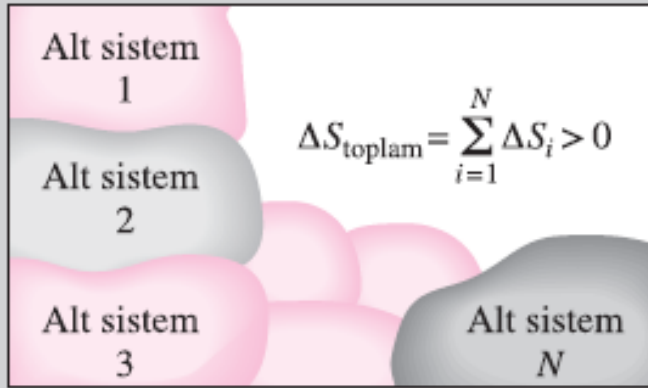
$$\Delta S_{\text{sis}} = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_{\text{üretim}}$$

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

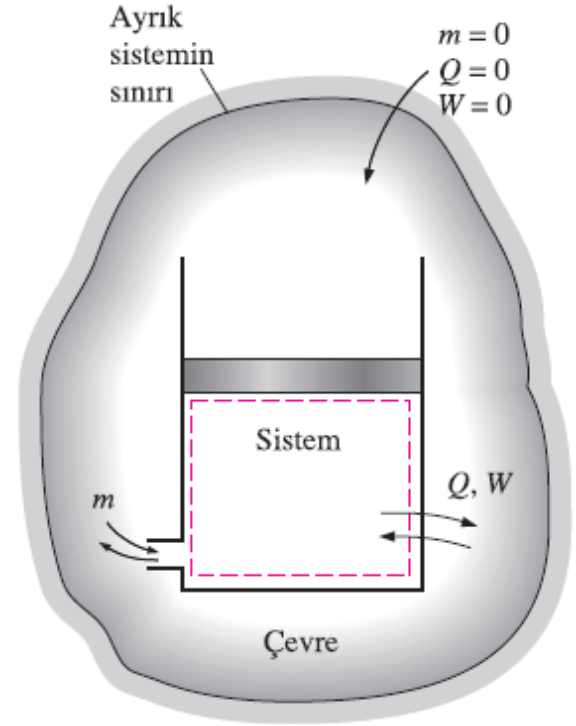
Tersinmez bir hal değişimi sırasında bir miktar entropi üretilir veya var edilir, entropi üretimi tümüyle tersinmezlikler ile ilgilidir.

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.



Bir sistem ve onun çevresindekiler ayrık bir sistemi oluşturur.

$$\Delta S_{\text{ayrık}} \geq 0$$

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

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

Entropinin artışı ilkesi

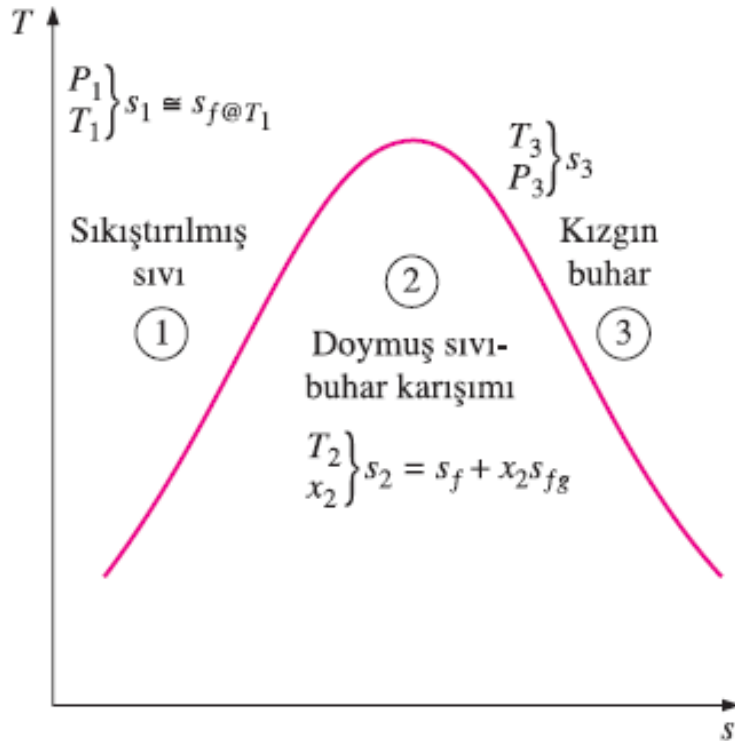
Entropi Üzerine Bazı Yorumlar

- *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

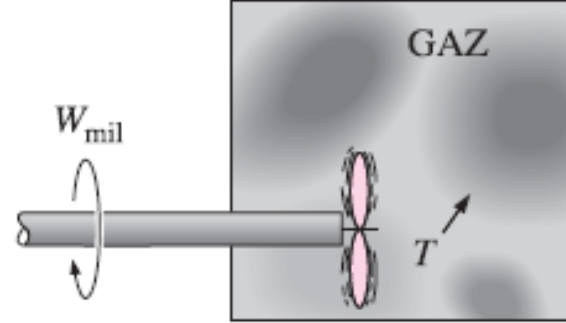
Entropi bir özelliktir ve bu nedenle bir sistemin entropisinin değeri, sistemin durumu sabit olduğunda sabittir.



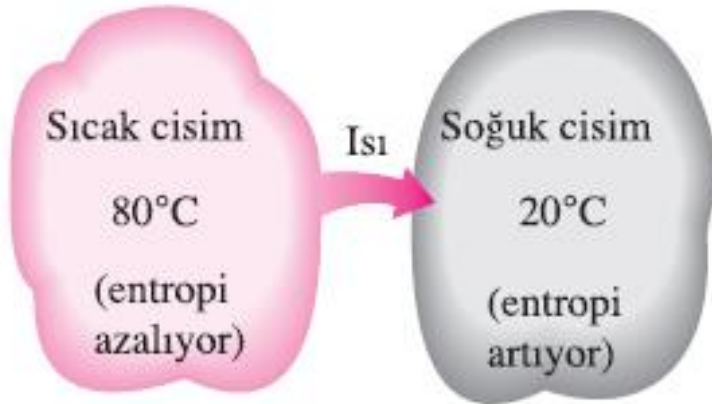
Entropi değışimi

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

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.

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

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

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

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

Örnek 1

Bir piston silindir düzeneğinde **300 K sıcaklığında** doymun 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 :** $\Delta S_{su} = ? Q/T$
 - $\Delta S_{su} = + Q/T = 750/ 300 K = 2.5 \text{ kJ/K}$
 - 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 :** $\Delta S_{R-134a} = m.(s_2 - s_1)$

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 kPa < 572.07 kPa

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

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

Örnek 3 (devam)

- Son durumda $v_2 = v_1 = 0.16544$ m³/kg olur.
- Çünkü ne kütlede ne de hacimde proses boyunca değişim olmamaktadır.
- $P = 100$ kPa için $v_f = 0.0007259$ m³/kg ; $v_g = 0.19254$ m³/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 ; $s_2 = 0.07188 + 0.858 \cdot 0.87995 = 0.8268 \frac{kJ}{kgK}$

- $\Delta S_{R-134a} = m \cdot (s_2 - s_1) = 5 \text{ kg} (0.8268 - 1.0624) \frac{kJ}{kgK} = -1.1776 \text{ kJ/K}$
 - 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 üretim = $\Delta S_{toplam} = \Delta S_{sistem} + \Delta S_{çevre}$

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

S 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 s_1 ve v_1 değerlerini bulalım:

$P_1 = 320$ kPa basınçta ve $x_1 = 0.5$ $v_1 = v_f + x.v_{fg}$

$v_1 = 0.02711385$ m³/kg olarak hesaplanır.

$m = V/v_1 = 0.6 \text{ m}^3 / 0.02711385 \text{ m}^3/\text{kg} = 22.13$ kg

$U_1 = u_f + x.u_{fg}$ den; $u_1 = 103.865$ kJ/kg olarak hesaplanır.

$S_1 = s_f + x.s_{fg}$ den ; $s_1 = 0.42085$ 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.

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

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

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

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

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

14. HAFTA ÖDEVİ

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.

- Soğutucu akışkanın entropisindeki değişimi bul?
- Ortamın entropisindeki değişimi bul?
- Bu işlem boyunca toplam entropide meydana gelen değişimi bulunuz?
- Bu işlemin tersinirmi, tersinmez mi ve mümkün olup olmayacağını söyleyiniz?

14. HAFTA 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.

- Soğutucu akışkanın entropisindeki değişimi bul?
- Ortamın entropisindeki değişimi bul?
- Bu işlem boyunca toplam entropide meydana gelen değişimi bulunuz?
- 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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$0.0007907 < 0.040398 < 0.051201$ old. göre;

Hala doymun sıvı buhar karışımı halindedir.

- $X2 = (0.040398 - 0.0007907) / (0.051201 - 0.0007907) = 0.7857$
 - $P2 = 400 \text{ kPa}$ $u_f = 63.62 \text{ kJ/kg}$; $u_{fg} = 171.45 \text{ kJ/kg}$
 $s_f = 0.24761 \text{ kJ/kgK}$; $s_{fg} = 0.67929 \text{ kJ/kgK}$
 - $U2 = 63.62 + 0.7857 * 171.45 = 198.328 \text{ kJ/kg}$
 - $S2 = 0.24761 + 0.7857 * 0.67929 = 0.7813 \text{ kJ/kgK}$
- a) $\Delta S_{R-134a} = m.(s2 - s1) = 12.376 * (0.7813 - 0.4678) = 3.879 \text{ kJ/kgK}$

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

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

$$Q = m \cdot (u_2 - u_1)$$

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

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

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

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

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?

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

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

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

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

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

(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 ihmaller yapılinca; $\dot{m}h_g = Q_{\dot{c}} + \dot{m}h_{\dot{c}}$

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

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

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

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

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

Örnek

Bir araştırmacı bir test odasının sıcaklığını 50 oC'de tutmak için içerisinden **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;

- Test odasına olan ısı transfer miktarını bul?
- Su buharının entropisinde meydana gelen değişimi bul?
- Test odasının entropisinde meydana gelen değişimi bul?
- Toplam entropi değişimini bul?

özüm:

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

P2=200 kpa doygun sıvı

Serpantin zamanla değişmeyen sürekli akışlı sistemdir.

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

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

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

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

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

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

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

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

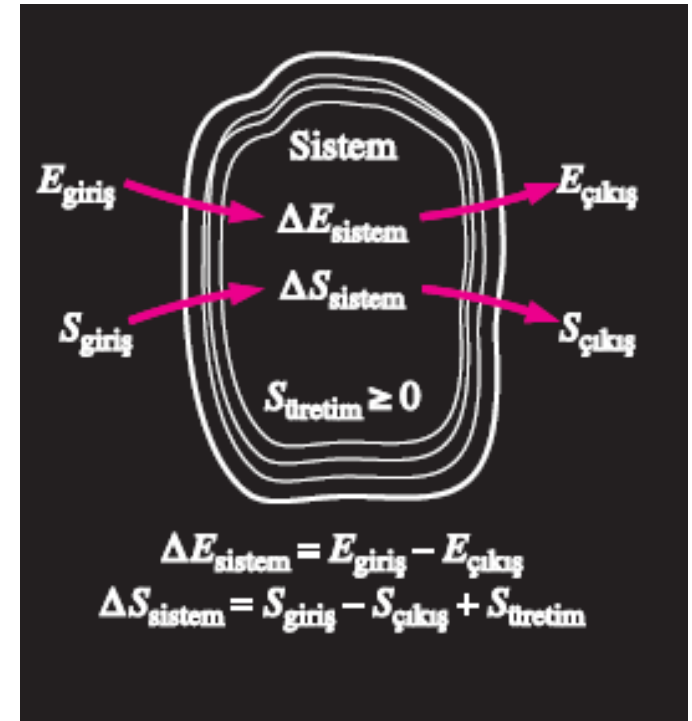
ENTROPİ DENGESİ

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

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

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

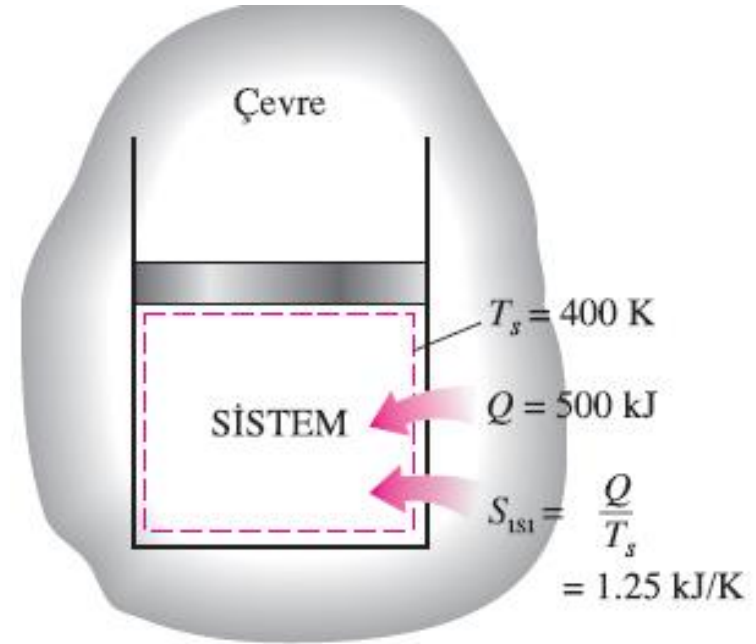
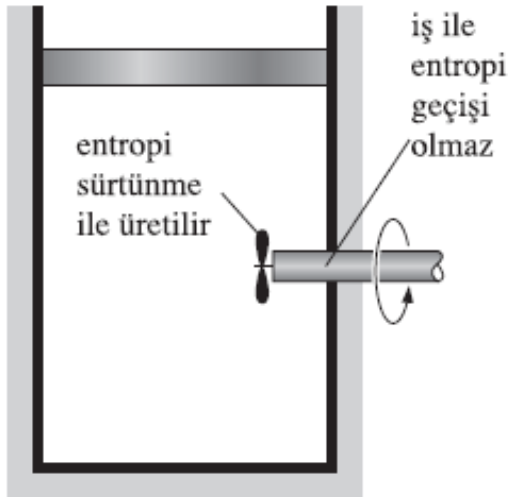
Isı geçişi tarafından entropi geçişi:

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

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

İş tarafından entropi geçişi:

$$S_{iş} = 0$$



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

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

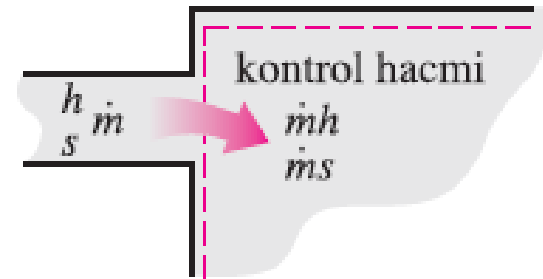
Entropi Geçişinin Mekanizmaları, S_{in} ve S_{out}

2 Kütle Akışı

Kütle tarafından entropi geçişi:

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

Hal değişimi esnasında
kütlenin özeliği değiştiğinde,



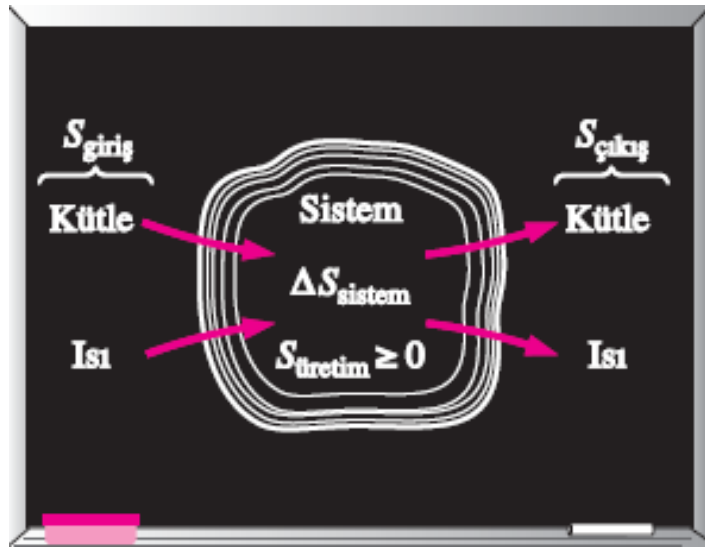
Kütle, enerji olduğu kadar entropi de içerir, ve böylece sisteme yada sistemden kütle akışına enerji ve entropi geçişi tarafından eşlik edilir.

Entropi Üretimi, $S_{\text{üretim}}$

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

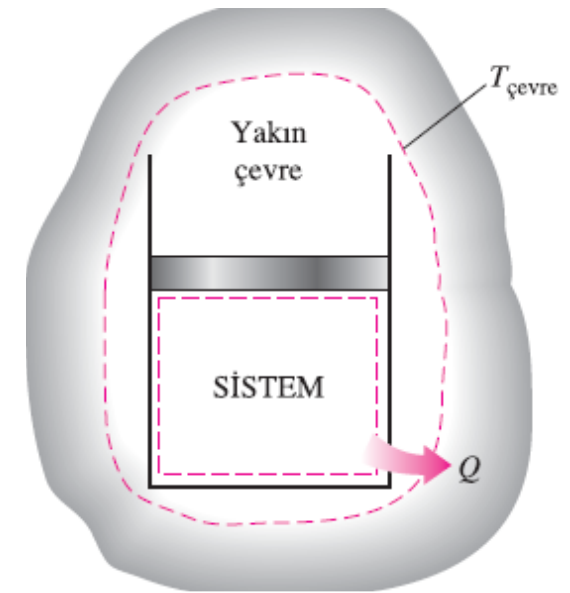
$$\underbrace{\dot{S}_g - \dot{S}_\varphi}_{\text{Birim zamanda ısı ve kütle ile gerçekleşen net entropi geçişi}} + \underbrace{\dot{S}_{\text{üretim}}}_{\text{Birim zamandaki entropi üretimi}} = \underbrace{dS_{\text{sistem}}/dt}_{\text{Birim zamanda entropideki değişim}}$$

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



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.



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

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

Açık Sistemler (Kontrol Hacimleri)

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

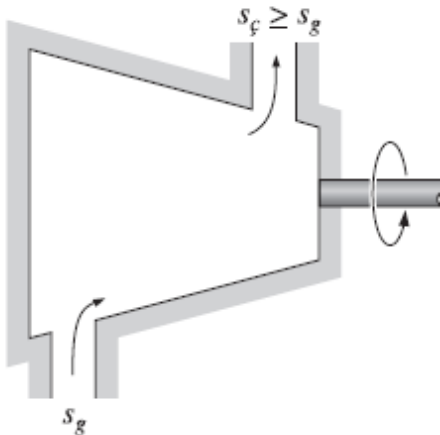
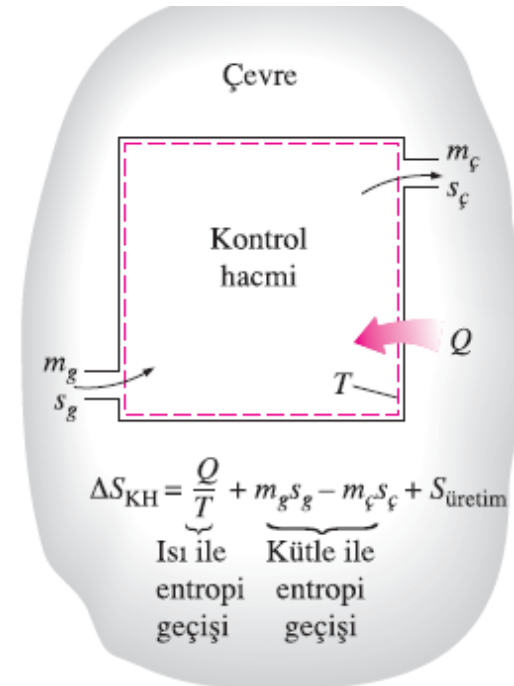
$$\sum \frac{Q_k}{T_k} + \sum \dot{m}_g s_g - \sum \dot{m}_\varphi s_\varphi + \dot{S}_{\text{üretim}} = dS_{\text{CV}}/dt \quad (\text{kW/K})$$

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

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).

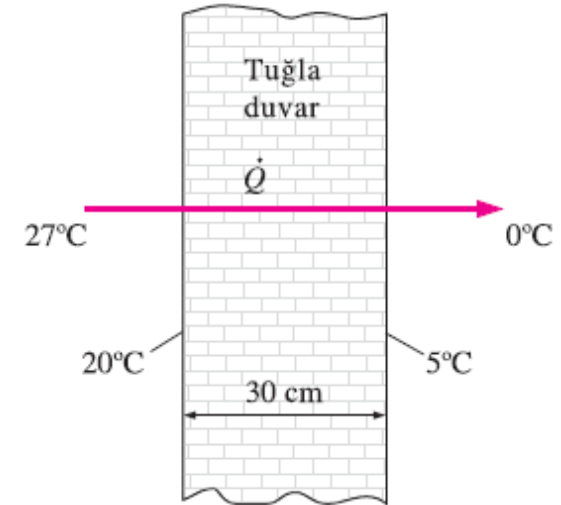
Bir kontrol hacminin entropi değişimi ısı transferi kadar kütle akışının da bir sonucudur.

ÖRNEKLER

Bir duvar boyunca ısı transferi için entropi dengesi

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

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

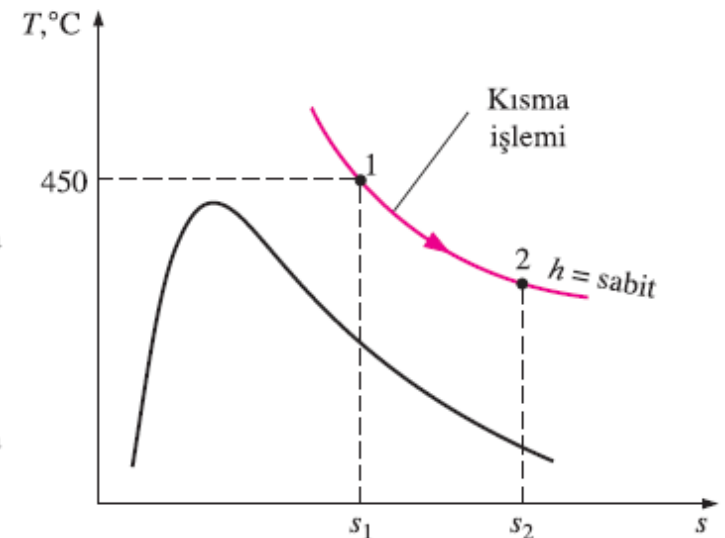
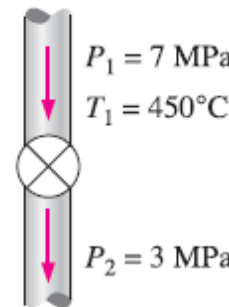


Bir kısılma işlemi için entropi dengesi

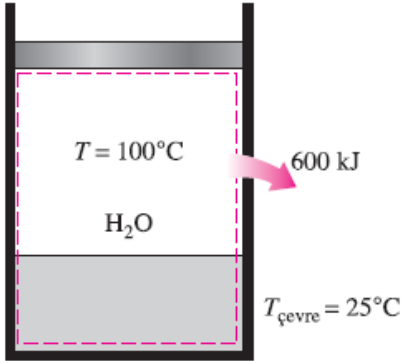
$$\underbrace{\dot{S}_g - \dot{S}_ç}_{\text{Birim zamanda ısı ve kütile ile gerçekleşen entropi geçişi}} + \underbrace{\dot{S}_{\text{üretim}}}_{\text{Birim zamandaki entropi üretimi}} = \underbrace{\frac{dS_{\text{sistem}}}{dt}}_{\text{Birim zamanda entropideki değişim}} \overset{0 \text{ (sürekli)}}{=}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

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

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

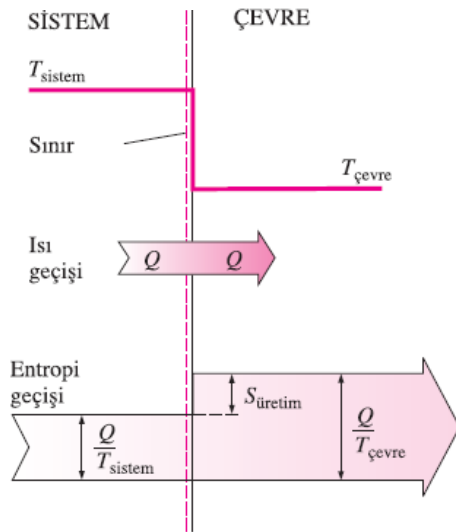


Isı Geçişi ile Birlikte Gerçekleşen Entropi Üretimi

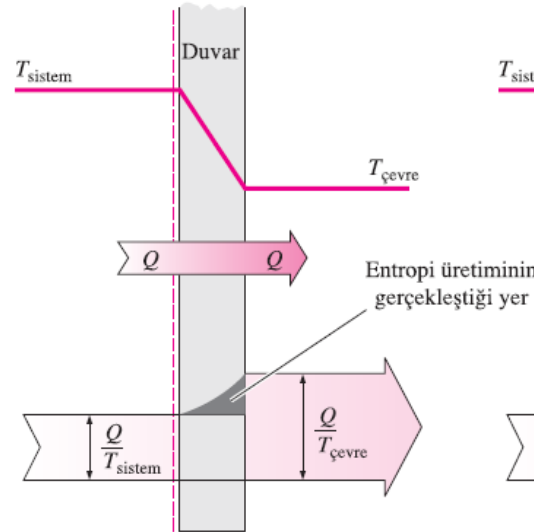


$$\underbrace{S_g - S_{\text{ç}}}_{\text{Isı ve kütle ile gerçekleşen enerji geçişi}} + \underbrace{S_{\text{üret}}}_{\text{Entropi üretimi}} = \underbrace{\Delta S_{\text{sistem}}}_{\text{Entropideki değişim}}$$

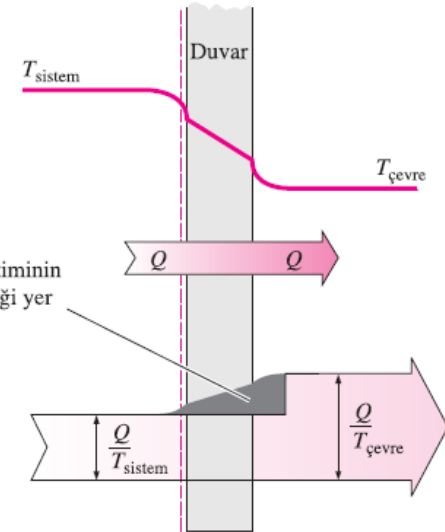
$$-\frac{Q_{\text{ç}}}{T_b} + S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{üretim}}$$



(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

$E_g - E_ç = \Delta U$ 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 doygun buhar olarak girmekte ve serpantinden doymuş sıvı olarak çıkmaktadır. Buna göre;

- Test odasına olan ısı transfer miktarını bul?
- Su buharının entropisinde meydana gelen değişimi bul?
- Test odasının entropisinde meydana gelen değişimi bul?
- Toplam entropi değişimini bul?

özüm:

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

P2=200 kpa doygun sıvı

Serpantin zamanla değişmeyen sürekli akışlı sistemdir.

$$Q_g+W_g+m(h_g+V_g^2/2 + gz_g) = Q_+W_+m(h_+V_^2/2 + gz_)$$

Örnek 3 (devam)

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

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

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

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

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

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

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

Örnek 4

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

- Birim zamanda suyun entropisinde meydana gelen değişimi bul?
- Çevre sıcaklığı 23 oC olduğuna göre çevre havasında meydana gelen entropi değişimini bul?
- Toplam entropi değişimini bul?

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

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

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

$T_1 Y$ yazılırsa

$$Q_g + W_g + m(h_g + V_g^2/2 + gz_g) = Q_ç + W_ç + m(h_ç + V_ç^2/2 + gz_ç)$$

Örnek 4 (devam)

Uygun ihmaller yapılnca; $mhg = Qç + mhç$

$$Qç = m(hg - hç) = m(h1 - h2) = 10 \text{ kg/h} \cdot 1 \text{ h} / 3600 \text{ s} (2777.1 - 762.51) = 5.59 \text{ kW}$$

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

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

Toplam entropi artmıştır, tersinmez işlemdir.

Örnek 5

Yalıtılmış bir tankta 100 kPa basınçta ve kütlelerinin %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.

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

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

$S_2 = \text{doygun buhar} = s_g = 6.8649 \text{ kJ/kgK}$ (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:

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

Isı ısı entropi
kg kç üretimi

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

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

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 ısı entropi

kg kç üretimi

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

$S_{\text{üretim}}=m(s_2-s_1) = 7.0046 - 6.6353 = 0.3693$ 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

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

Uygun ihmallere yapıldığında;

$$m_1.h_1 + m_2.h_2 = Q_{ç} + m_3.h_3$$

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

Örnek 8 (devam)

h_1 i bulmak için önce faz durumunu belirleyelim

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

$10 \text{ oC} < 120.21 \text{ oC}$ old. için soğuk sıvı

Soğuk sıvı özellikleri = doygun 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

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

$150 \text{ oC} > 120.21 \text{ oC}$ 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;

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

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

Isı ısı entropi

kg kç üretimi

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

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

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

Isı ısı entropi
kg kç 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;

$$\Delta S_{\text{sistem}} = S_2 - S_1 = C_p \ln(V_2 / V_1) + C_v \ln(P_2 / P_1)$$

Eğer değişkenler V ve T ise;

$$\Delta S_{\text{sistem}} = S_2 - S_1 = C_v \ln(T_2 / T_1) + R \ln(V_2 / V_1)$$

Eğer değişkenler T ve P ise;

$$\Delta S_{\text{sistem}} = S_2 - S_1 = C_p \ln(T_2 / T_1) - R \ln(P_2 / P_1)$$

Örnek 11

Sıvılar ve katılar için entropi değişimi ifadesi nedir?

Sıvı ve katılar sıkıştırılmayan madde olarak kabul edilebildiklerinden dolayı $dV = 0$ olacağından;

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

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?

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

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

Q'yu bulmak için kapalı sisteme T1Y 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: $\Delta S_{toplam} = \Delta S_{demir külçe} + \Delta S_{göl suyu} = -12.65 + 16.97 = 4.32 \text{ kJ/K}$

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; $h_1=3411.4$ kJ/kg , $s_1=6.8$ kJ/kgK

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

Adyabatik olduğuna göre; $S_1=S_2 = 6.8$ kJ/kgK olacaktır.

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

Örnek 13 (devam)

$$Qg+Wg+m(h1g+Vg^2/2 + gzg) = Qç+Wç+m(hç+Vç^2/2 + gzç)$$

Uygun ihmaller yapılnca;

$$m(hg+Vg^2/2) = Wç+m(hç+Vç^2/2)$$

$$m(3411.4 + 45^2/2.1000) = 6494 + m(2471.77 + 75^2/2.1000)$$

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

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

$$m(hg+Vg^2/2) = Wç+m(hç+Vç^2/2)$$

$$6.924(3411.4 + 45^2/2.1000) = 5000 + 6.924(hç + 75^2/2.1000)$$

$$hç=2687.4 \text{ kJ/kg}$$

$P2= 100 \text{ kPa}$ ve $hç= 2687.4 \text{ kJ/kg}$ için ; $Tç=T2= 105.75 \text{ oC}$ bulunur

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

$S2=7.39029 \text{ kJ/kgK}$ 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 ısı

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.

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

$$S_g - S_{ç} + \text{Süretim} = \Delta S = 0 \text{ (Tüm sistem ele alınıyor)}$$

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

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

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

Örnek 14 (devam)

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

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

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

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

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

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 her bir 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 $S_{üretim} = 0.018325$ 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 taşıyıcının 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 “kullanılabilirlik” (Çengel ve Boles 1996).
- *Kullanılabilirlik çözümlenmesinde 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 indisıyla gösterilir.
- *Aksi belirtilmedikçe, ölü hal sıcaklığı 25 oC 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 proste 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 dönüştürülebilir enerji miktarının bir ölçüsü de olmaktadır.
- *Diğer enerji türlerine dönüşebilme özelliği enerjinin değer ölçüsü olarak alınır, çeşitli enerji türleri üç ayrı grupta toplanabilir:
 - 1) Diğer enerji türlerine sınırsız veya tamamen dönüştürülebilir enerji (örneğin; mekanik enerji, elektrik enerjisi, potansiyel enerji, kinetik enerji vb.)
 - 2) Diğer enerji türlerine sınırlı (kısmen) dönüştürülebilir 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 **anergi** 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 anergi bölümü sıfıra eşittir.

*Aynı şekilde çevrenin iç enerjisinin tamamı anergi 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 eşitleri

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_0 , P_0 halindeki çevre şartları ile termodinamik denge haline getirildiğinde sistemden elde edilecek maksimum iş olarak tanımlanır.

$$B_{fiz.} = (h - h_0) - T_0 (s - s_0)$$

Bir sistemde iki durum arasındaki fiziksel ekserji farkı da;

$$B_{fiz.1} - B_{fiz.2} = (h_1 - h_2) - T_0 (s_1 - s_2)$$

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.

$$B_{\Delta T} = \left[- \int_{T_1}^{T_0} \frac{T - T_0}{T} dh \right]$$

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

$$B_{\text{fiz.}} = (h_0 - h_1) - T_0.(s_0 - s_1)$$

İdeal gazların fiziksel ekserjileri

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

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

Katı ve sıvıların fiziksel ekserjileri

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

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

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;

$$Bo = \sum_{i=1}^N xi \cdot bo_{,i} + RT_0 \sum_{i=1}^N xi \cdot \ln xi$$

Yakıtların kimyasal ekserjileri

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

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

olarak belirtilmiştir ve katı yakıtlar için aşağıdaki şekilde hesaplanır.

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

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

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

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.

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

buradan da sıvı yakıtların kimyasal ekserjisi,

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

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 ısıl değere oranı (Atalay 2004)

Yakıt	Yakıttaki Kütle Oranı (%)				Φ / H_a	$\Phi / H_{ü}$
	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;

$$B_Q = \int_A \left(\frac{T - T_0}{T} \right) Q_i \cdot dA$$

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

$$BQ = QA \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)$$

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.

$$\delta B = T_0 \Sigma \Delta S = T_0 \Delta S_{net}$$

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:

$$\delta B = \frac{T_0}{T} v dP$$

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

$$\delta B = n R T_0 \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

Sürtünmeden dolayı ekserji kaybı

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

$$\delta B = QF \frac{T_0}{T}$$

Sonlu sıcaklık farkındaki ısı transferinde ekserji kaybı

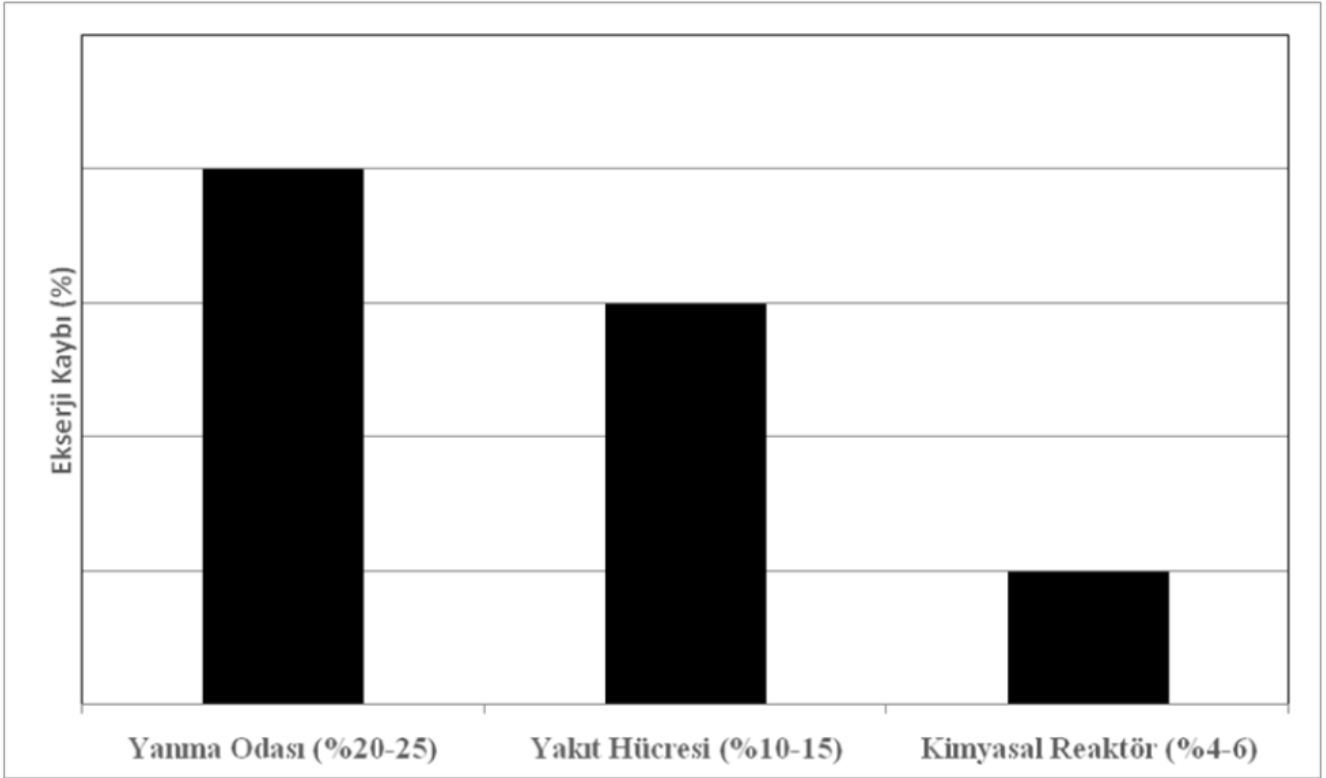
Sonlu sıcaklık farkının olduğu, sıcaklığı T1 olan 1 no'lu sistem ile T2 olan 2 no'lu sistemlerin arasındaki ısı transferi sonucunda ortaya çıkan ekserji kaybı aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$\delta B = Q \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2}\right) T_0$$

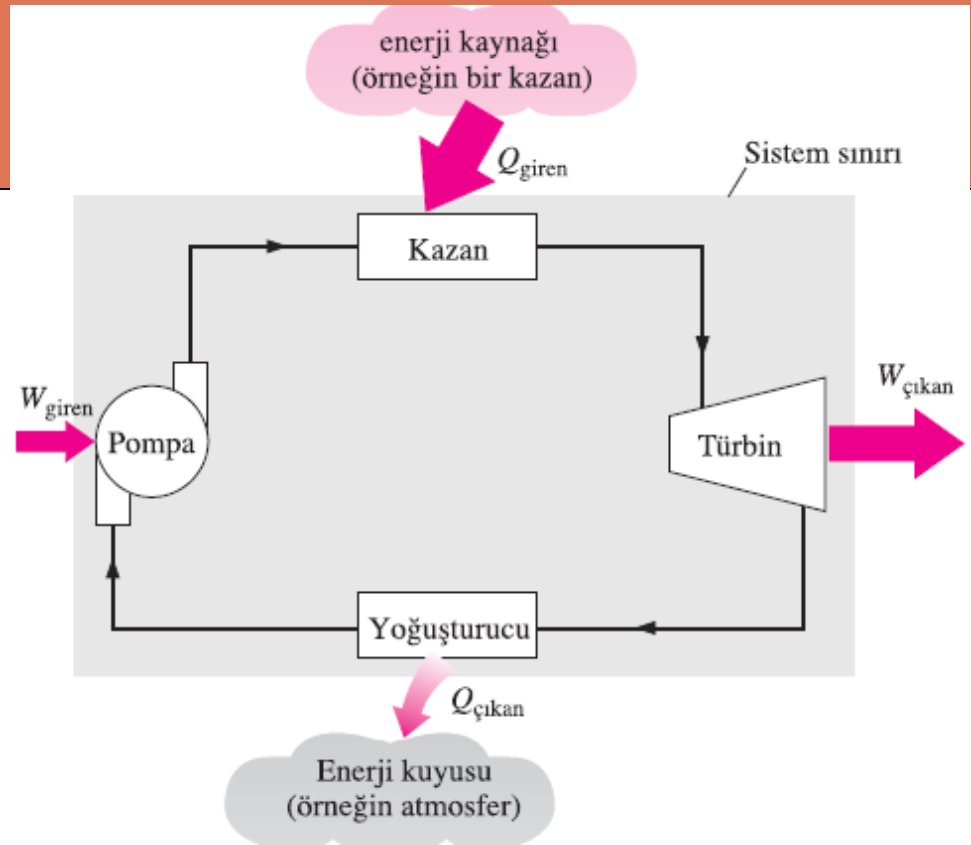
Çeşitli ısı prosesler için ekserji kayıplarının karşılaştırılması

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.

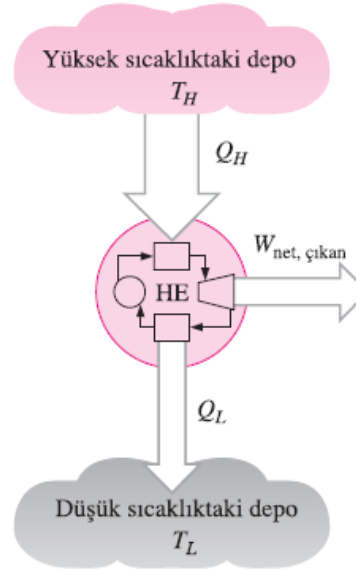
$Q_{çıkan}$ = Yoğuşturucuda buhardan düşük sıcaklıktaki kuyuya (atmosfer, akarsular vb.) geçen ısı miktarı.

$W_{çıkan}$ = 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

$$W_{\text{net, çıkan}} = Q_H - Q_L$$

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

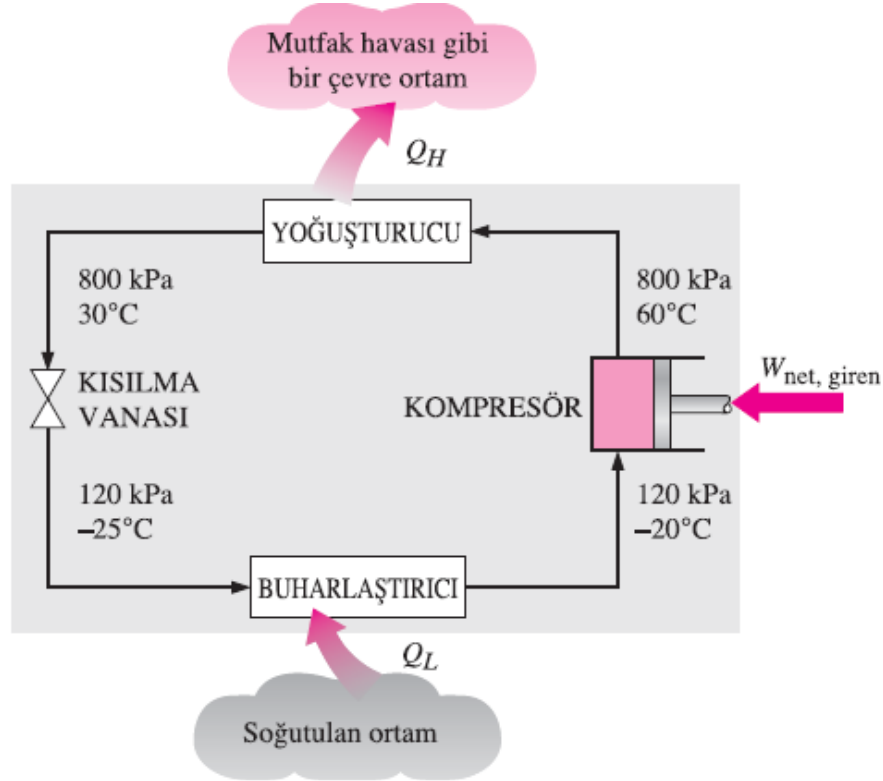
$$\text{Isıl verim} = \frac{\text{Elde edilen net iş}}{\text{Toplam giren ısı}}$$

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

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

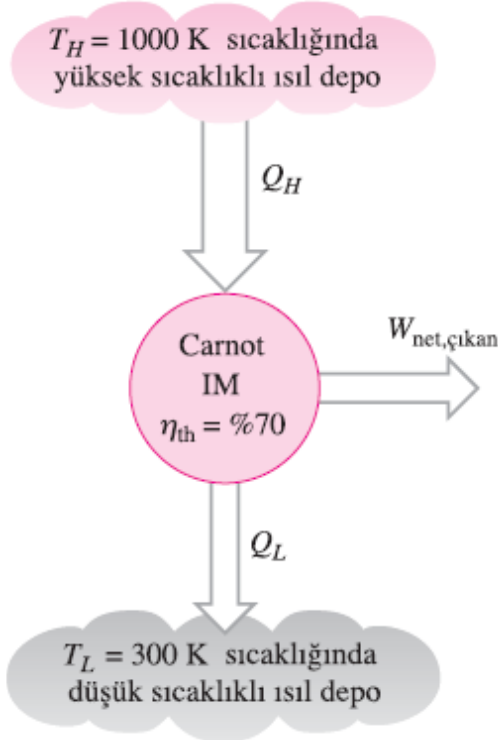
$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{Q_{\text{çıkan}}}{Q_{\text{giren}}}$$

ÖZET : SOĞUTMA MAKİNELERİ VE ISI POMPALARI



Bir soğutma sisteminin ana elemanları ve tipik çalışma koşulları.

ÖZET : CARNOT ISI MAKİNESİ

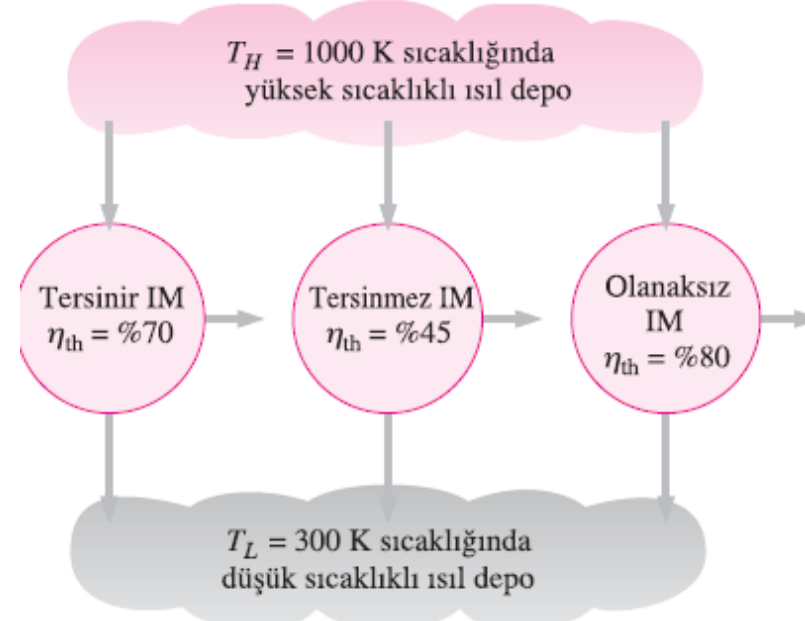


Herhangi bir ısı makinesi

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

Carnot ısı makinesi

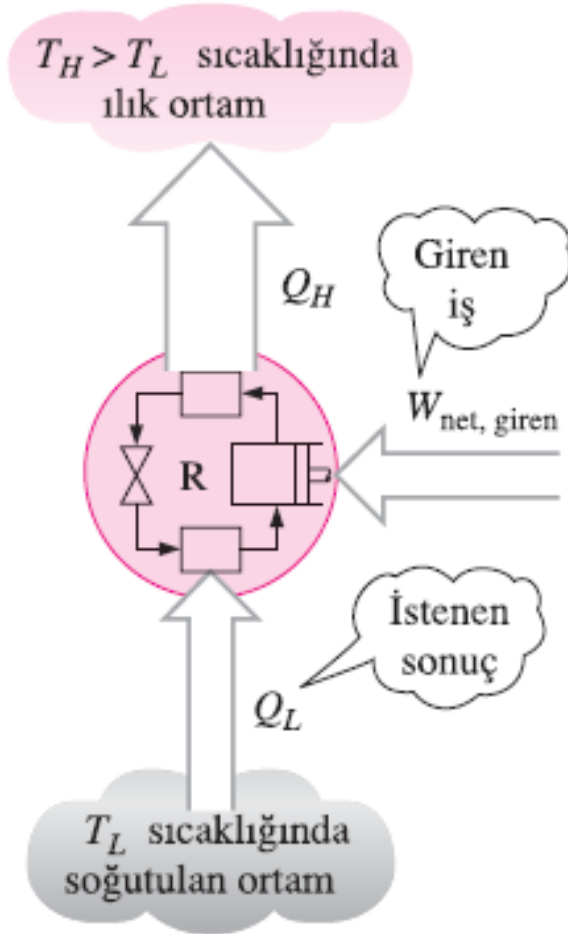
Carnot ısı makinesi, aynı yüksek ve düşük sıcaklıklı ısı depolar arasında çalışan ısı makineleri içinde en yüksek verime sahip olanıdır.



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

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

ÖZET : Etkinlik Katsayısı



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

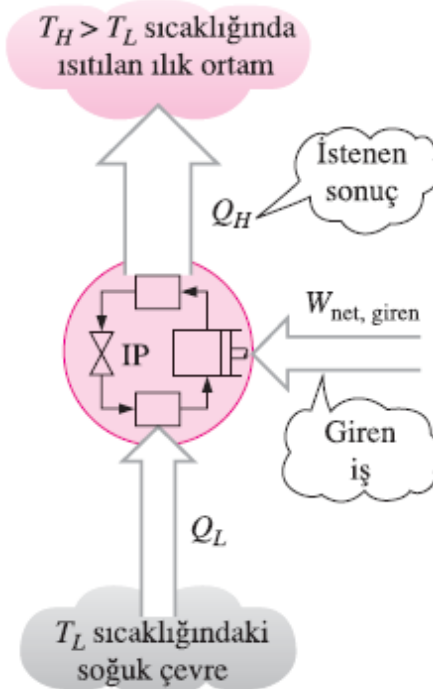
$$W_{net, giren} = Q_H - Q_L \quad (\text{kJ})$$

$$COP_{SM} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{Q_H/Q_L - 1}$$

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

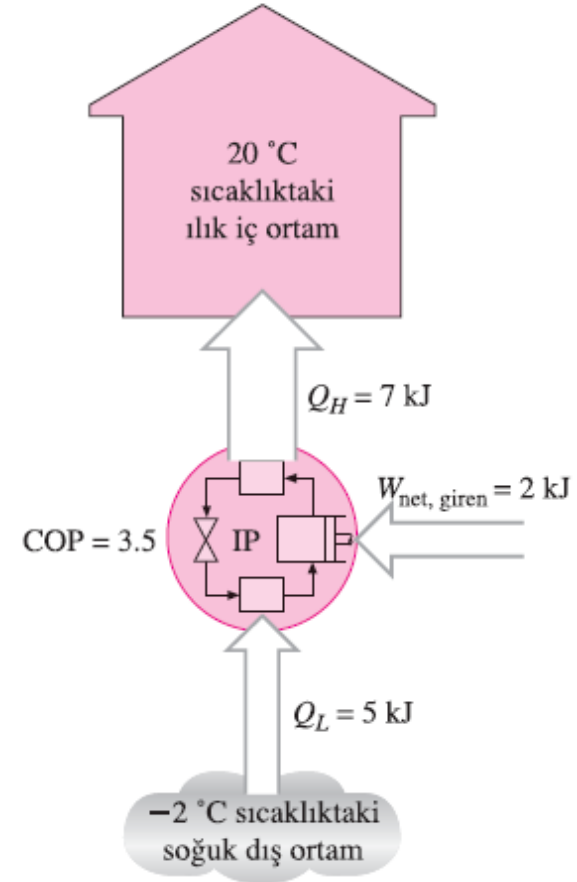
Bir soğutma makinesinin amacı, soğutulan ortamdaki Q_L ısıyı çekmektir.

ÖZET : Isı Pompaları



Bir ısı pompasının amacı, ılık ortama Q_H ısıyı vermektir.

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

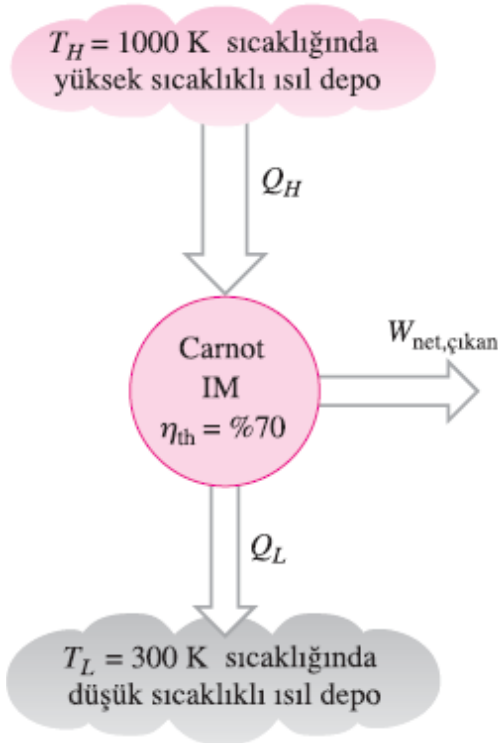


$$\text{COP}_{\text{IP}} = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcanması gereken değer}} = \frac{Q_H}{W_{\text{net,giren}}}$$

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

$\text{COP}_{\text{IP}} = \text{COP}_{\text{SM}} + 1$ Q_L ve Q_H 'ın sabit değerleri için

ÖZET : CARNOT ISI MAKİNESİ



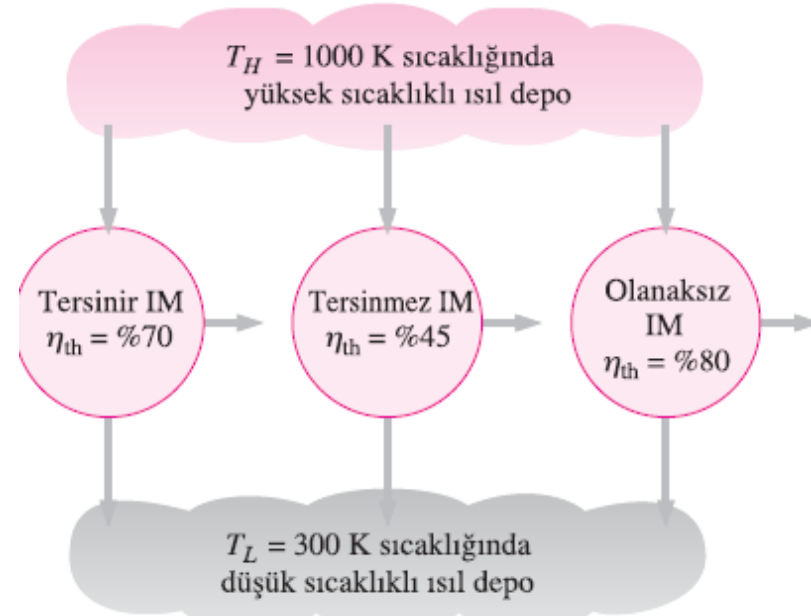
Carnot ısı makinesi, aynı yüksek ve düşük sıcaklıklı ısı depolar arasında çalışan ısı makineleri içinde en yüksek verime sahip olanıdır.

Herhangi bir ısı makinesi

Carnot ısı makinesi

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

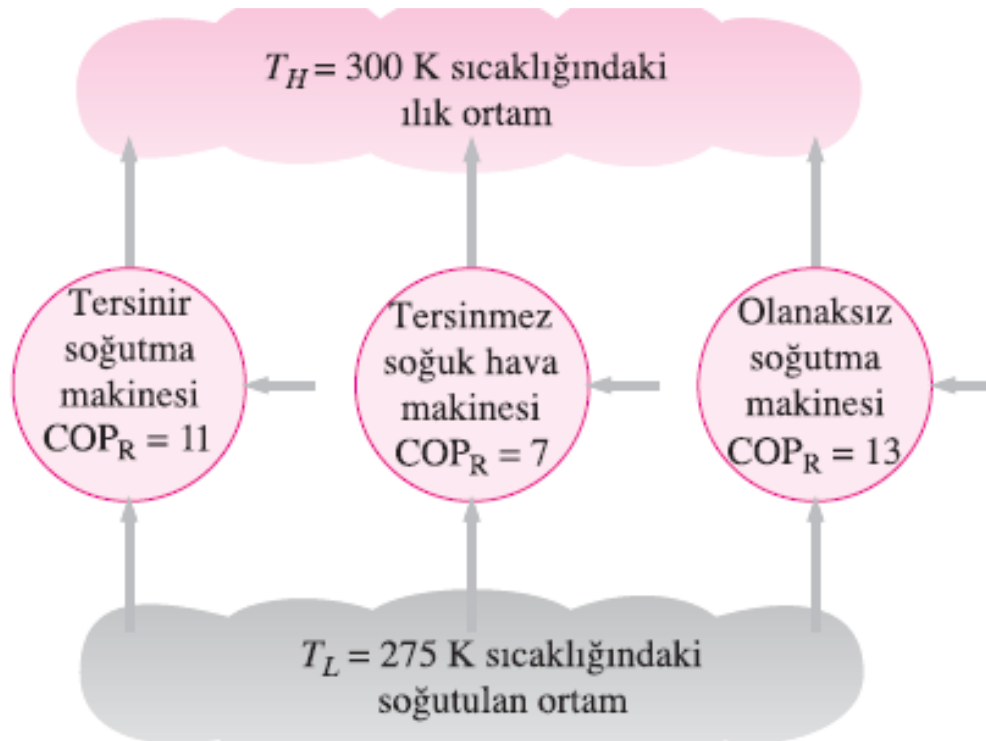
$$\eta_{th,tr} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$



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

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

ÖZET: CARNOT SOĞUTMA MAKİNESİ VE ISI POMPASI



Herhangi bir soğutma makinesi veya ısı pompası

$$COP_R = \frac{1}{Q_H/Q_L - 1}$$

$$COP_{HP} = \frac{1}{1 - Q_L/Q_H}$$

Carnot soğutma makinesi veya ısı pompası

$$COP_{SM, tr} = \frac{1}{T_H/T_L - 1}$$

$$COP_{IP, tr} = \frac{1}{1 - T_L/T_H}$$

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

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

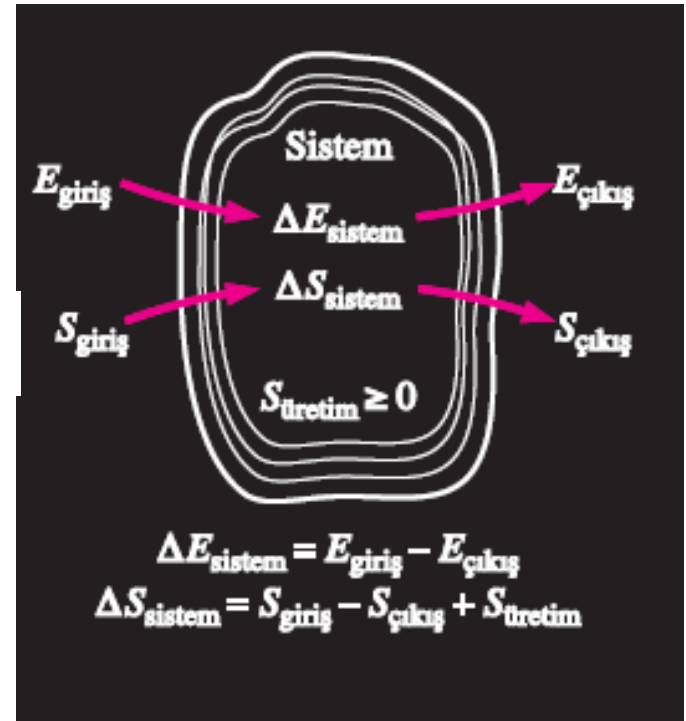
$$S_g - S_ç + S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{sistem}}$$

Bir sistemin entropi değişimi, ΔS_{sistem}

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

Sistemin özellikleri kararlı olmadığında

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



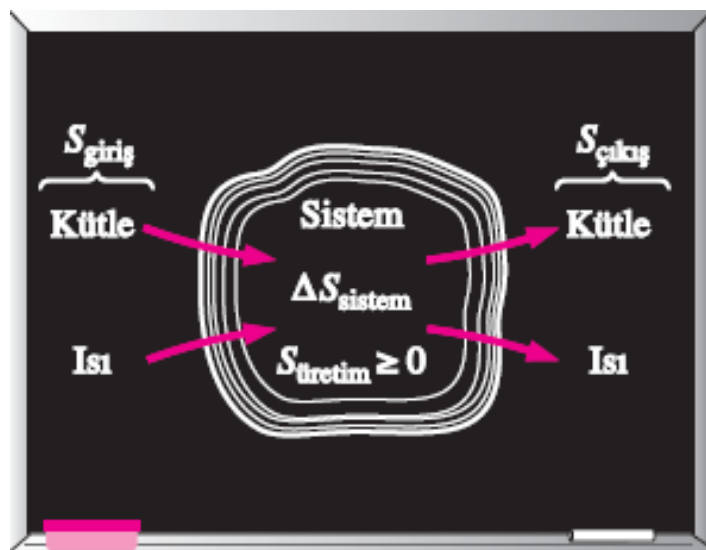
Bir sistem için enerji ve entropi dengeleri

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

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

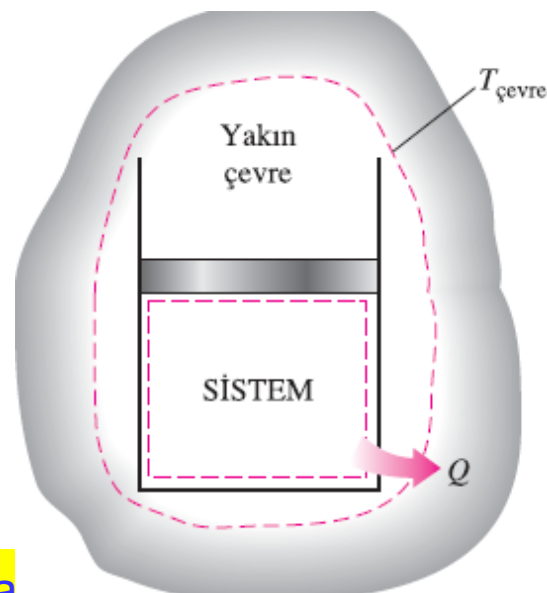
$$\underbrace{\dot{S}_g - \dot{S}_{\phi}}_{\text{Birim zamanda ısı ve kütle ile gerçekleşen net entropi geçiş}} + \underbrace{\dot{S}_{\text{üretim}}}_{\text{Birim zamandaki entropi üretimi}} = \underbrace{dS_{\text{sistem}}/dt}_{\text{Birim zamanda entropideki değişim}}$$

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



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.

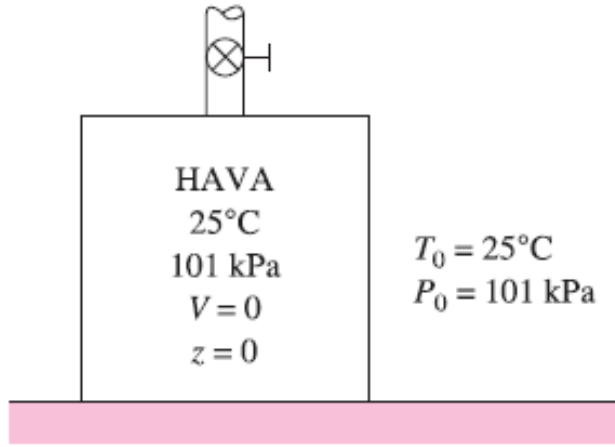


Amaçlar

- 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.



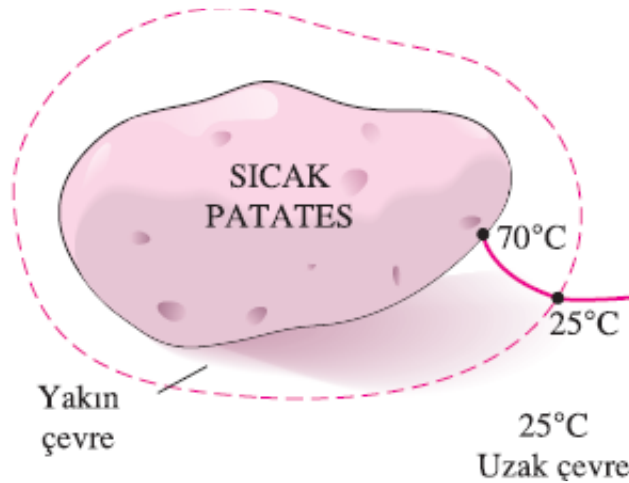
Çevresiyle dengede bulunan bir sistem ölü halindedir.

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)

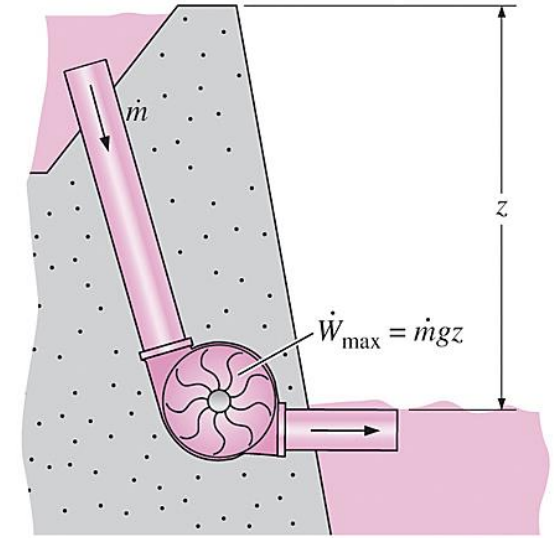
Potansiyel enerjinin ekserjisi:

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

Kinetik enerjinin ekserjisi:

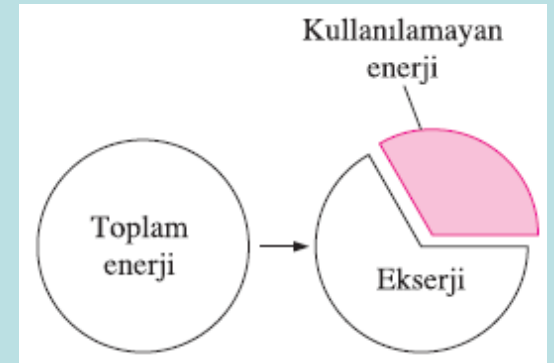
$$x_{ke} = ke = \frac{V^2}{2} \quad (\text{kJ/kg})$$

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



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

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



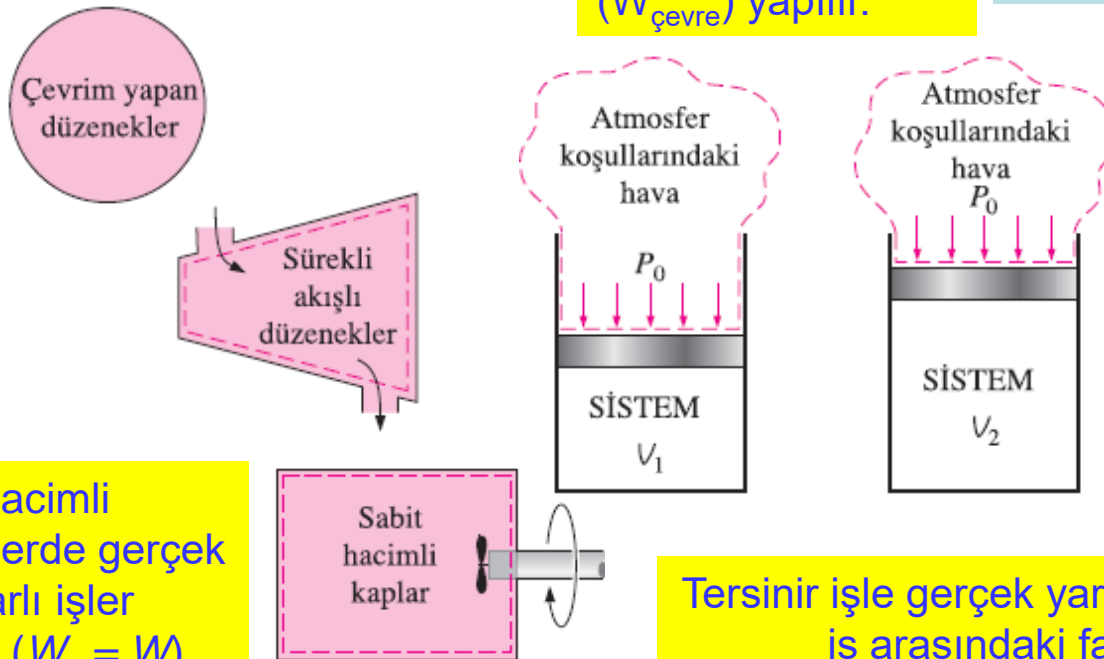
TERSİNİR İŞ VE TERSİNMEZLİK

$$W_{\text{çevre}} = P_0(V_2 - V_1)$$

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.

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

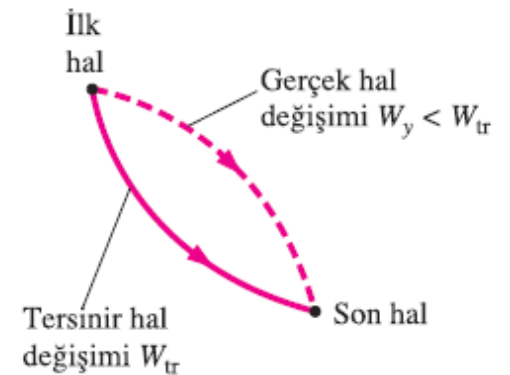


Sabit hacimli sistemlerde gerçek ve yararlı işler aynıdır ($W_y = W$).

Tersinir işle gerçek yararlı iş arasındaki fark tersinmezliktir.

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

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



$$I = W_{\text{tr}} - W_y$$

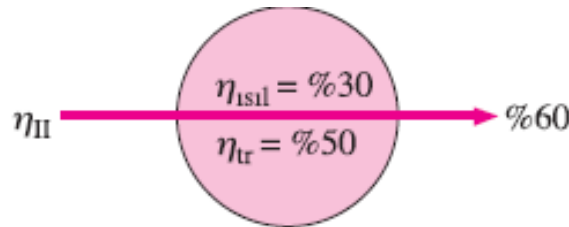
İKİNCİ YASA VERİMİ, η_{II}

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

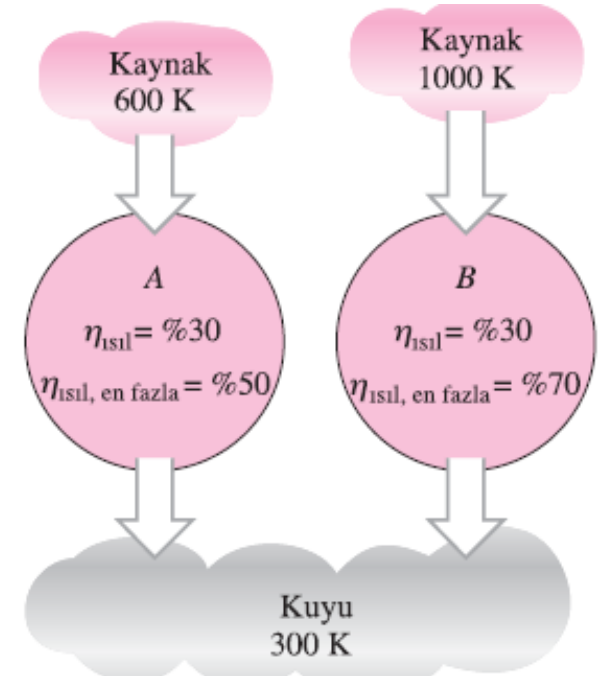
$$\eta_{II} = \frac{W_y}{W_{tr}} \quad (\text{iş üreten makinalar})$$

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

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



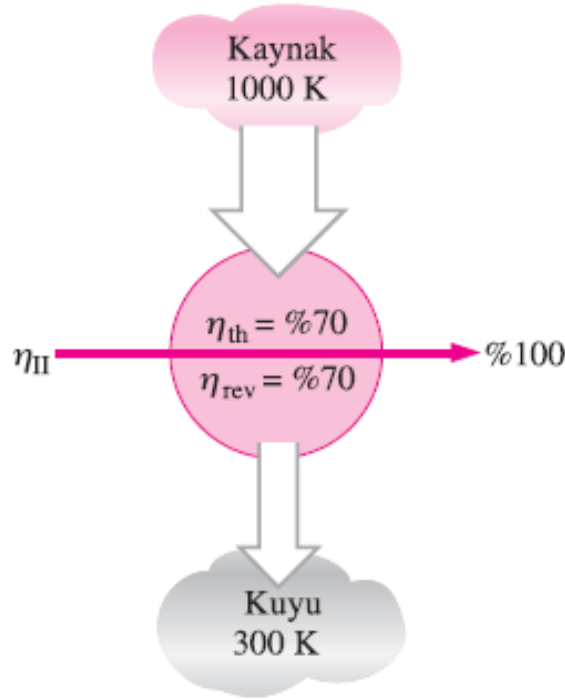
İkinci yasa verimi, bir makinenin ısı veriminin tersinir koşullarda sahip olabileceği ısı verime oranıdır.



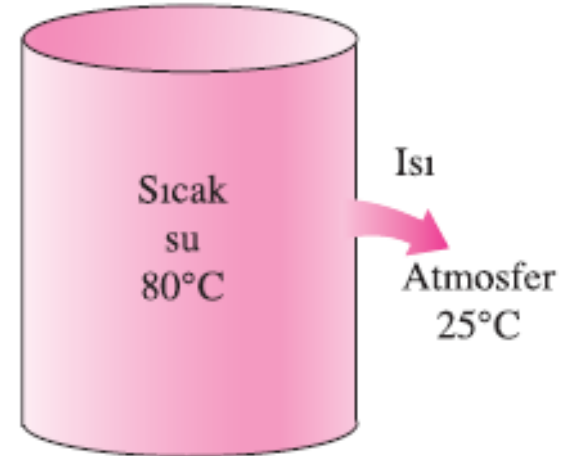
İki ısı makinesinin ısı verimleri eşit fakat sahip olabilecekleri en yüksek ısı verim farklı olabilir.

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

$$1- 298 / 1100 = 0.729$$

$$\begin{aligned} \text{Max. Isıl verim} &= \text{Tersinir yapılan iş} = \text{Maksimum ısııl verim} * Q_g \\ &= 0.729 * 3000 = 2187 \text{ kW} \end{aligned}$$

3000 kW = Toplam enerji

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

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

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?

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

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

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

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

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?

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

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

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

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

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 ısıl dengeye gelmesi sağlanmaktadır. Bu hal değişimi için tersinir işi ve tersinmezliği hesaplayınız? C_p demir külçe = 0.45 (kJ/kgK)

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

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

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

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

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

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

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)

$8191 * 13.6 = 111398$ kJ iç ortama ısı verir

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

$30734 + 111398 = 142132$ kJ binanın iç ortamına verilen enerji

38925 kJ odaya verilen toplam ısı

8191 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)

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

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

$\Delta\emptyset = \emptyset_2 - \emptyset_1 =$ 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 Kütlelin Ekserjisi: Kütle Akışı Olmayan Sistemlerin (veya Kapalı Sistemlerin) Ekserjisi

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

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

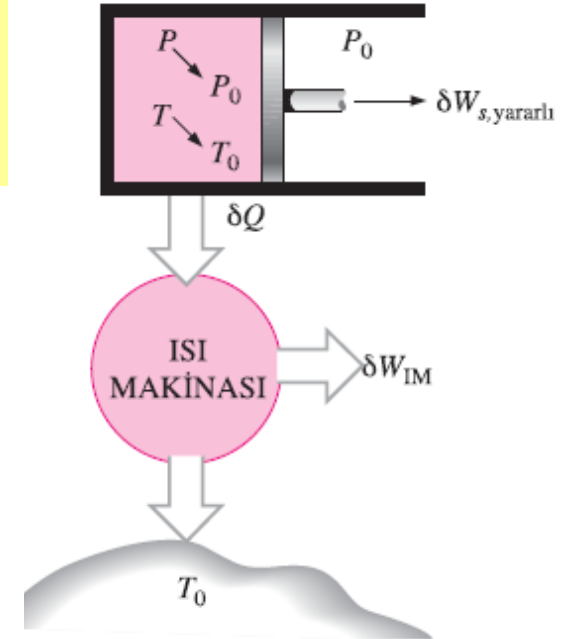
$$\delta W_{\text{IM}} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta Q = \delta Q - \frac{T_0}{T} \delta Q = \delta Q - (-T_0 dS) \rightarrow$$

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

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

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

Kapalı bir sistemin ekserjisi



Belirli bir durumdaki belirli bir kütlelin ekserjisi, kütle çevresinin durumuna bir tersinir hal değişimine maruz kalırken üretilebilen 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

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

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

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

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

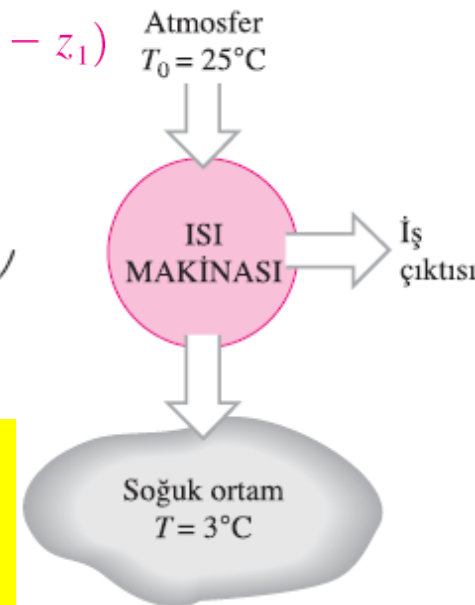
$$= (e_2 - e_1) + P_0(v_2 - v_1) - T_0(s_2 - s_1)$$

Kapalı bir sistemin ekserji değişimi,

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 üretilmediğinde, aynı zamanda pozitif bir niceliktir.



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:

$$e = h + \frac{v^2}{2} + gz$$

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?

$$X_1 = m_1 \cdot \emptyset_1$$

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

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

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

$$\emptyset_1 = P_0(V_1 - V_0) - T_0(S_1 - S_0)$$

Örnek-1 (devam)

$$V_1 = RT_1/P_1 \quad ; \quad V_0 = RT_0/P_0 \quad T_1 = T_0 \text{ old. için;}$$

$$P_0(V_1 - V_0) = P_0(RT_1/P_1 - RT_0/P_0) = R \cdot T_0(P_0/P_1 - 1)$$

Hatırlama: Önceki dersimizde;

Değişkenler V ve P ise; $\Delta S_{\text{sistem}} = S_2 - S_1 = C_p \cdot \ln(V_2 / V_1) + C_v \cdot \ln(P_2 / P_1)$

Değişkenler V ve T ise; $\Delta S_{\text{sistem}} = S_2 - S_1 = C_v \cdot \ln(T_2 / T_1) + R \cdot \ln(V_2 / V_1)$

Değişkenler T ve P ise; $\Delta S_{\text{sistem}} = S_2 - S_1 = C_p \cdot \ln(T_2 / T_1) - R \cdot \ln(P_2 / P_1)$

Örneğimizde değişken basınç olduğu için;

$$(S_1 - S_0) = C_p \ln(T_1/T_0) - R \ln(P_1/P_0) = -R \cdot \ln(P_1/P_0) \text{ olur.}$$

Örnek -1 (devam)

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

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

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

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

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

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

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

(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

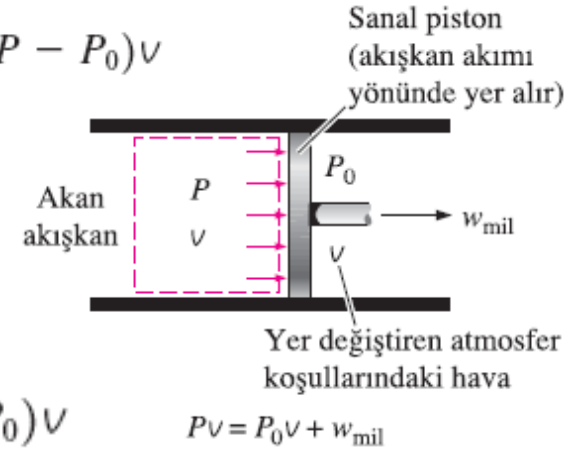
$$x_{\text{akan akışkan}} = x_{\text{akmayan akışkan}} + x_{\text{akış}}$$

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

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

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

(8-21)



Akış enerjisinin ekserjisi

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

Akış ekserjisi

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

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

Bir akışkanın ekserji değişimi

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

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:

$$e = h + \frac{v^2}{2} + gz$$

Akışkan
akımı

Ekserji:

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

(b) Kütle akışı (akım)

(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

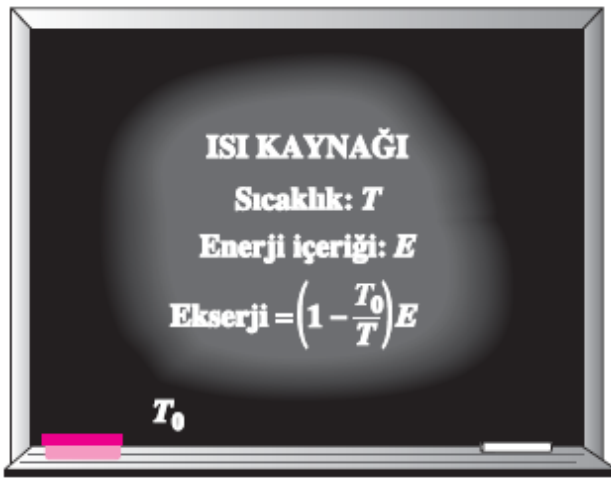
Isı Geçişi (Q) ile Ekserji Geçişi

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

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

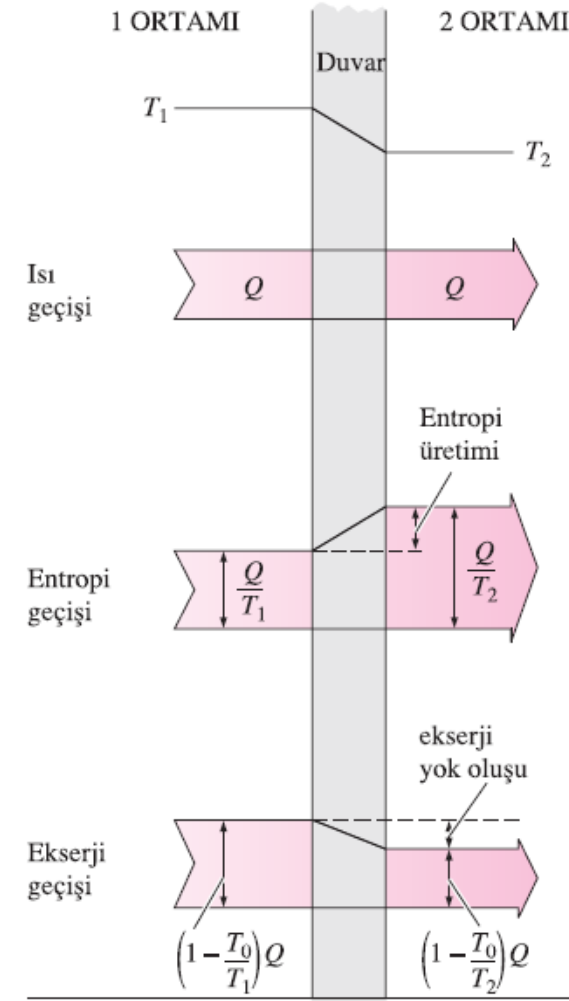
Isı ile ekserji geçişi

Sıcaklık sabit değilse



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

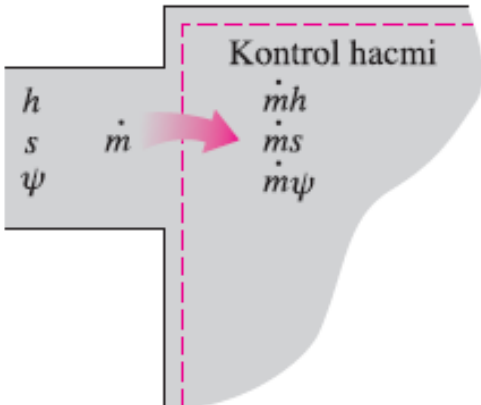
$$X_{i\dot{s}} = \begin{cases} W - W_{\text{çevre}} & (\text{sınır işi için}) \\ W & (\text{işin diğer şekilleri için}) \end{cases}$$

$$W_{\text{çevre}} = P_0(V_2 - V_1)$$

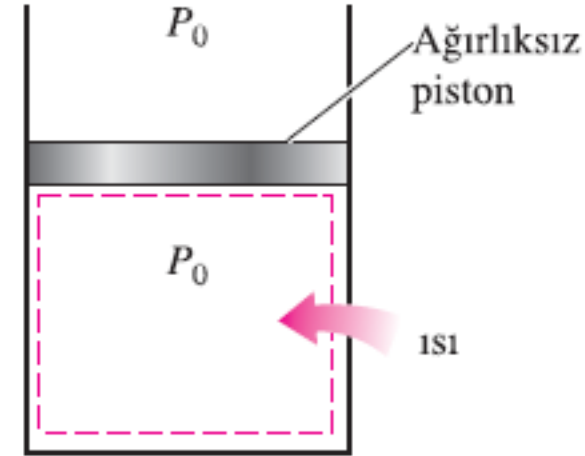
Kütle (m) ile Ekserji Geçişi

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

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



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

$$-T_0 S_{üretim}^0 = E_2 - E_1 - T_0(S_2 - S_1)$$

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

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

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

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

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

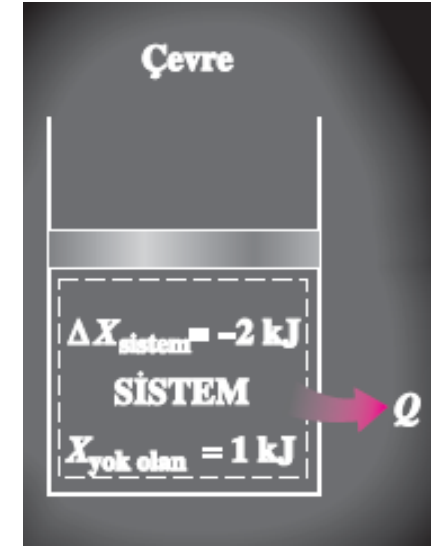
$$X_{\text{yok olan}} \begin{cases} > 0 & \text{Tersinmez hal değişimi} \\ = 0 & \text{Tersinir hal değişimi} \\ < 0 & \text{Olanaksız hal değişimi} \end{cases}$$

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

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?**

$$X_g - X_ç - X_{\text{yok olan}} = dX_{\text{system}}/dt = 0$$

Isı ısı Birim zamanda
İş iş ekserji yok oluşu
kg kç

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

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

İş (W) ile Ekserji Geçişi

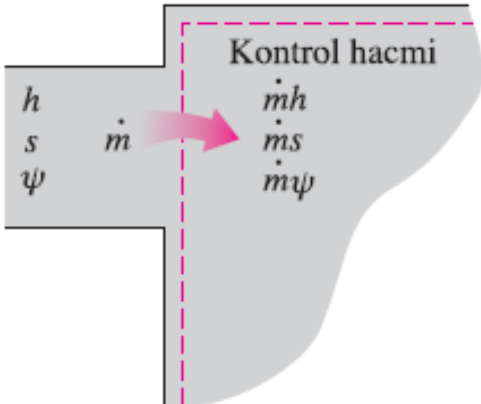
$$X_{i\dot{s}} = \begin{cases} W - W_{\text{çevre}} & (\text{sınır işi için}) \\ W & (\text{işin diğer şekilleri için}) \end{cases}$$

$$W_{\text{çevre}} = P_0(V_2 - V_1)$$

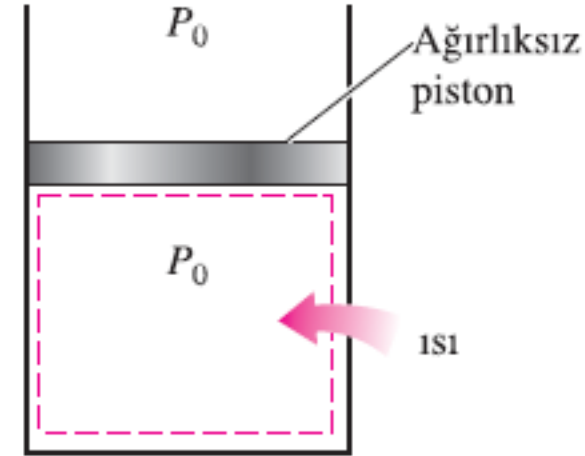
Kütle (m) ile Ekserji Geçişi

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

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



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:

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

$$-T_0 S_{üretim}^0 = E_2 - E_1 - T_0(S_2 - S_1)$$

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

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

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

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.

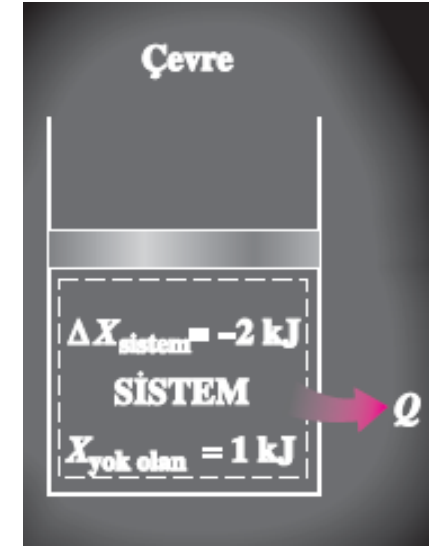
Ekserji Yok Oluşu

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

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

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;

- Buharın ilk ve son haldeki ekserjisini bul?
- Buharın ekserji değişimini bul?
- Ekserji yok oluşunu bul?
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)

$$X1 = \text{İlk hal} = m [(u1 - uo) - To (s1 - so) + Po (v1 - vo)]$$

$$X1 = 0.05 [(2793.7 - 104.83) - 298 (7.1246 - 0.3672) + 100 (0.25799 - 0.00103)]$$

$$X1 = 35 \text{ kJ}$$

$$X2 = \text{Son hal} = m [(u2 - uo) - To (s2 - so) + Po (v2 - vo)]$$

$$X2 = 0.05 [(2577.1 - 104.83) - 298 (7.2810 - 0.3672) + 100 (0.95986 - 0.00103)]$$

$$X2 = 25.4 \text{ kJ}$$

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

c) Toplam ekserji yok oluşu :

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

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

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

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

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

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

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

Isı(-) ısı(+)

enerjideki değişim

İş(-) iş(+)

k.g.(-) k.ç.(-)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$= T_o \cdot (\text{Sgenleşme} + \text{Sısı})$$

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

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

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) $X_{\text{yok olan}} = T_0 \cdot \text{Süretim}$

$S_{\text{giren}} - S_{\text{çıkan}} + \text{Süretim}$	$= \Delta S_{\text{system}}$
Isı(-) Isı(-) Entropi	entropideki değişim
k.g.(-) k.ç.(-) üretimi	

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

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

b)

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

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 bul 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;

- Son durumdaki denge sıcaklığını
- Birleşik sistemin ilk ve son haldeki ekserjisini
- 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Yitirilen iş potansiyeli = Ekserji yok oluşu

$X_{\text{yok olan}} = T_0 \cdot \text{Süretim}$

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

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 gaza 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 basınçtaadır. Çevre ile argon gazı arasında ısı geçişi yoktur.

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

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

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

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

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

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

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

Isı(+) ısı(-) (enerjideki değişim)

İş(-) iş(+)

k.g.(-) k.ç.(-)

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

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

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)

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

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

İş(-) iş(+) oluşu=0

k.g.(-) k.ç.(-)

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

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

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

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

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

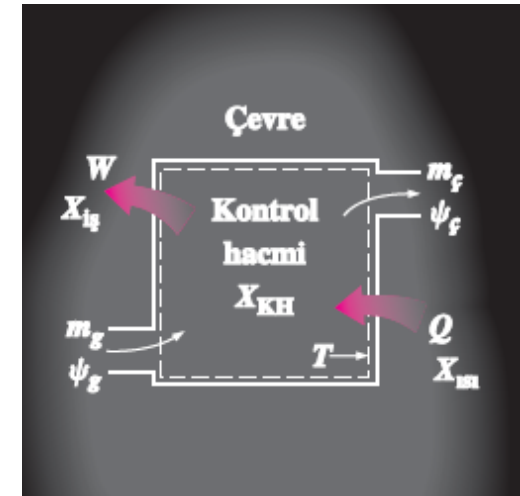
EKSERJİ DENGESİ: KONTROL HACİMLERİ

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

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

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

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.

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

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

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

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



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

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

Birim zamanda ısı, iş ve kütle ile net ekserji geçişi

Birim zamanda ekserji yok oluşu

Birim zamanda ekserjideki değişim

$$\dot{X}_{giren} = \dot{X}_{çikan}$$

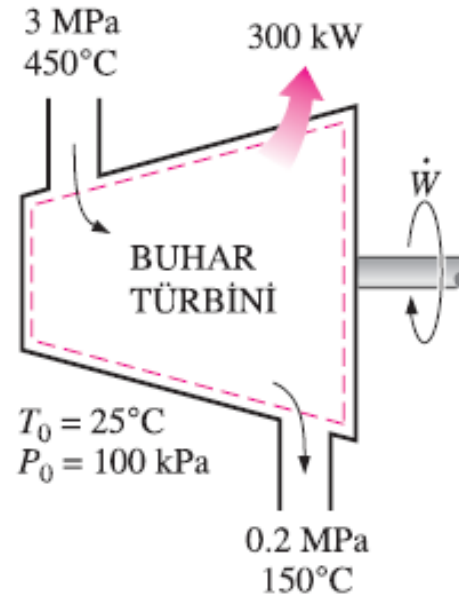
$$\dot{m}\psi_1 = \dot{W}_{tr,çikan} + \dot{X}_{ısı} \rightarrow 0 + \dot{m}\psi_2$$

$$\dot{W}_{tr,çikan} = \dot{m}(\psi_1 - \psi_2)$$

$$= \dot{m}[(h_1 - h_2) - T_0(s_1 - s_2) - \Delta ke \rightarrow 0 - \Delta pe \rightarrow 0]$$

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

$$\dot{X}_{yok olan} = \dot{W}_{tr, çikan} - \dot{W}_{çikan}$$



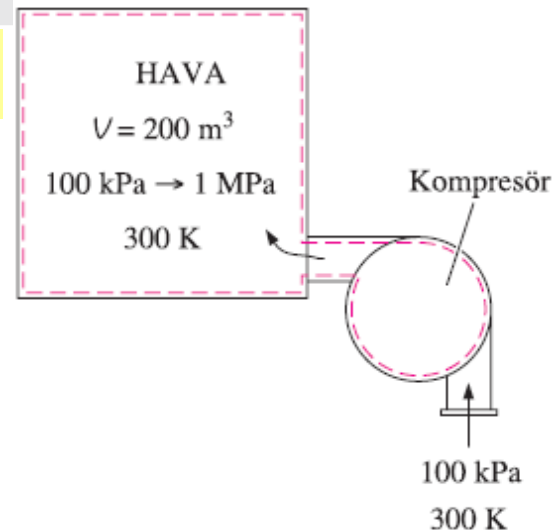
Bir doldurma işleminin ekserji dengesi

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

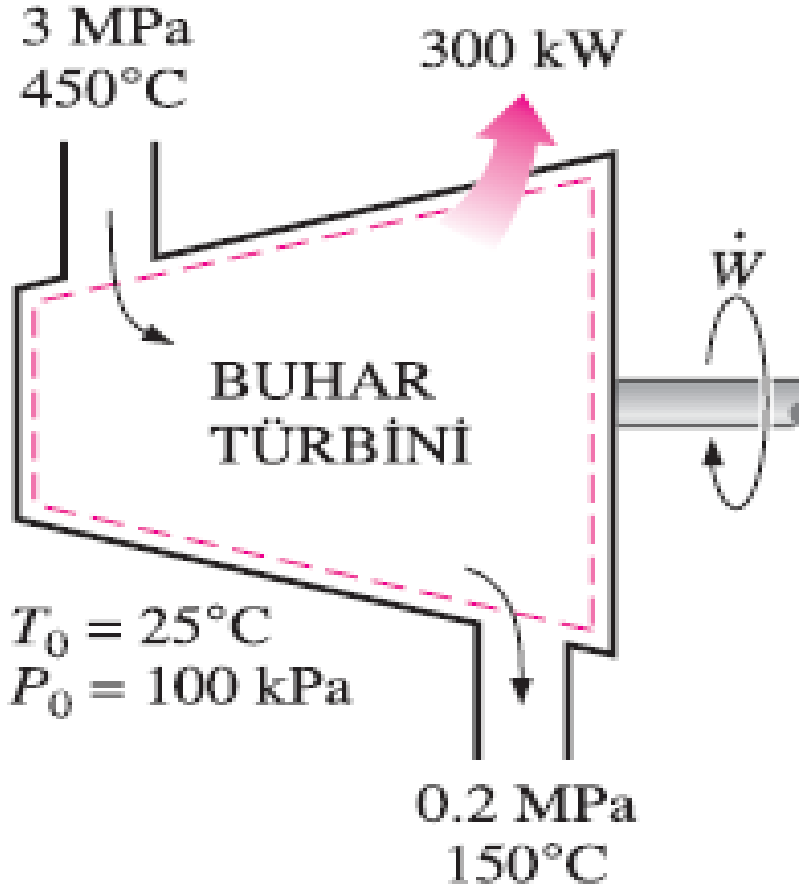
$$X_{giren} - X_{çikan} = X_2 - X_1$$

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

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



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 oC ;

$h_1=3344.9$ kJ/kg;

$s_1=7.0856$ kJ/kgK

ÇIKIŞ: 0.2 Mpa, 150 oC;

$h_2=2769.1$ kJ/kg;

$s_2=7.2810$ kJ/kgK

ÖLÜ HAL: 100 kPa, 25 oC ;

$h_o=h_f=104.83$ kJ/kg

$s_o=s_f=0.3672$ kJ/kgK

$$Q_g + W_g + m(h_g + V_g^2/2 + g z_g) = Q_ç + W_ç + m(h_ç + V_ç^2/2 + g z_ç)$$

$$m \cdot h_g = Q_ç + W_ç + m \cdot h_ç$$

$$W_ç = m(h_g - h_ç) - Q_ç$$

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

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:

$$\psi_1 = (h_1 - h_0) - T_0(s_1 - s_0)$$

$$\psi_1 = (3344.9 - 104.83) - 298(7.0856 - 0.3672) = 1238 \text{ kJ/kg}$$

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

$$Q_g + W_g + m_1(h_{1g} + V_{1g}^2/2 + gz_{1g}) + m_2(h_{2g} + V_{2g}^2/2 + gz_{2g}) =$$

$$Q_ç + W_ç + m_3(h_{3ç} + V_{3ç}^2/2 + gz_{3ç})$$

Uygun ihmalleri yapıncaya;

$$m_1.h_1 + m_2.h_2 = Q_ç + m_3.h_3$$

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

h_1 i bulmak için önce faz durumunu belirleyelim

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

$10 \text{ oC} < 120.21 \text{ oC}$ old. için soğuk sıvı

Soğuk sıvı özellikleri = doygun 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

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

$150 \text{ oC} > 120.21 \text{ oC}$ 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

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

70 oC < 120.21 oC old. için soğuk sıvı

Soğuk sıvı özellikleri = doygun sıvı özellikleri

$h_3 = h_f = 293.07$ kJ/kg

$s_3 = s_f = 0.9551$ kJ/kgK

Öncelikle m_2 kütleli debiyi bulalım;

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

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

$m_2 = 15.29$ 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

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

Isı ısı entropi

kg kç üretimi

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

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

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

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

Entropi üretim kaynakları:

*2 sıvının karışması *Sonlu sıcaklık farkından ısı geçişi

$$X_{\text{yok olan}} = T_0 \cdot \text{Süretim}$$

$$X_{\text{yok olan}} = 293 \cdot 24.53 = 7187 \text{ kJ/dk}$$

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 dolaşımında 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;

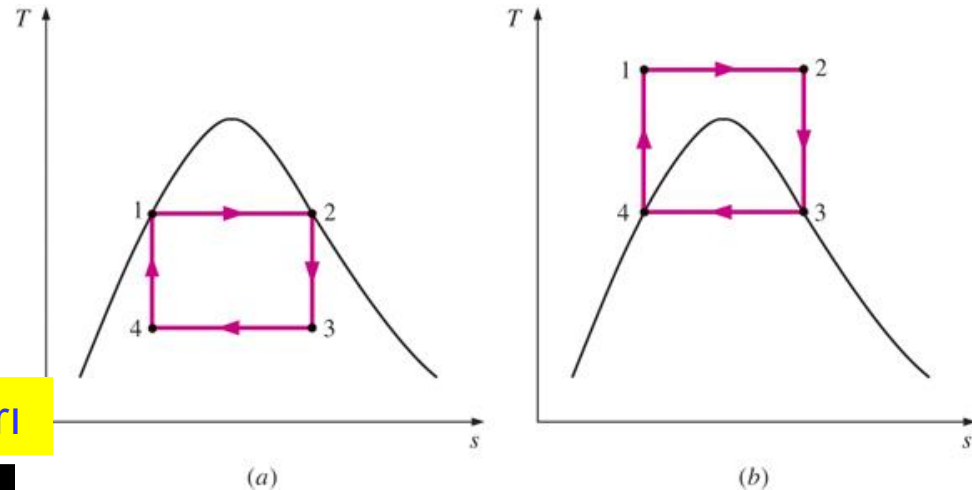
1-2 hal değişimi: Çevrimde kullanılacak en yüksek sıcaklığı önemli ölçüde kısıtlar (bu değer su için 374 C'dir). Çevrimin en yüksek sıcaklığının bu şekilde sınırlanması, ısı veriminin de sınırlanması anlamına gelir.

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: İzentropik 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

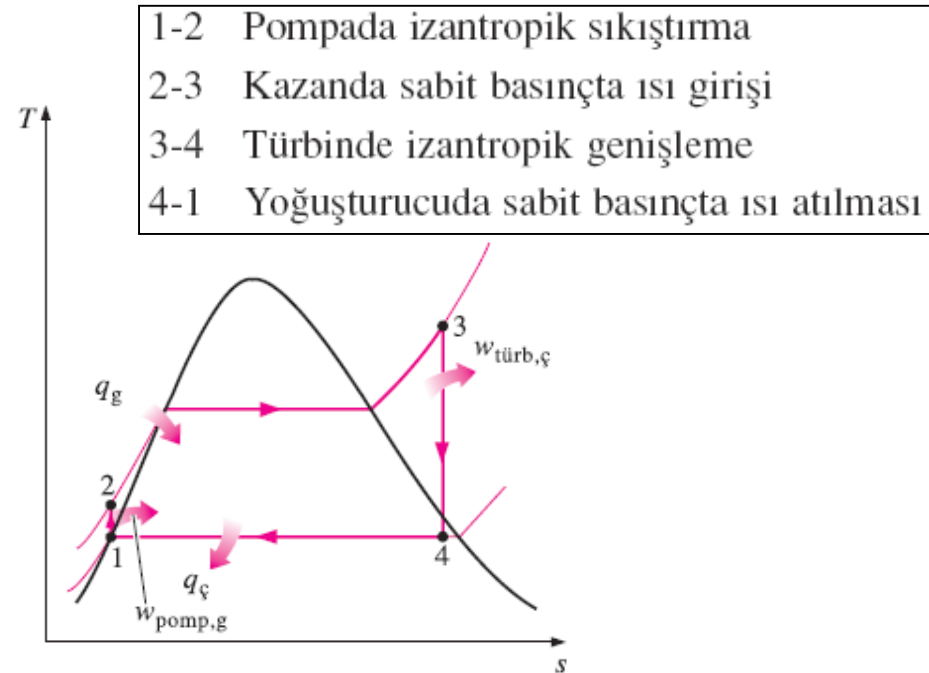
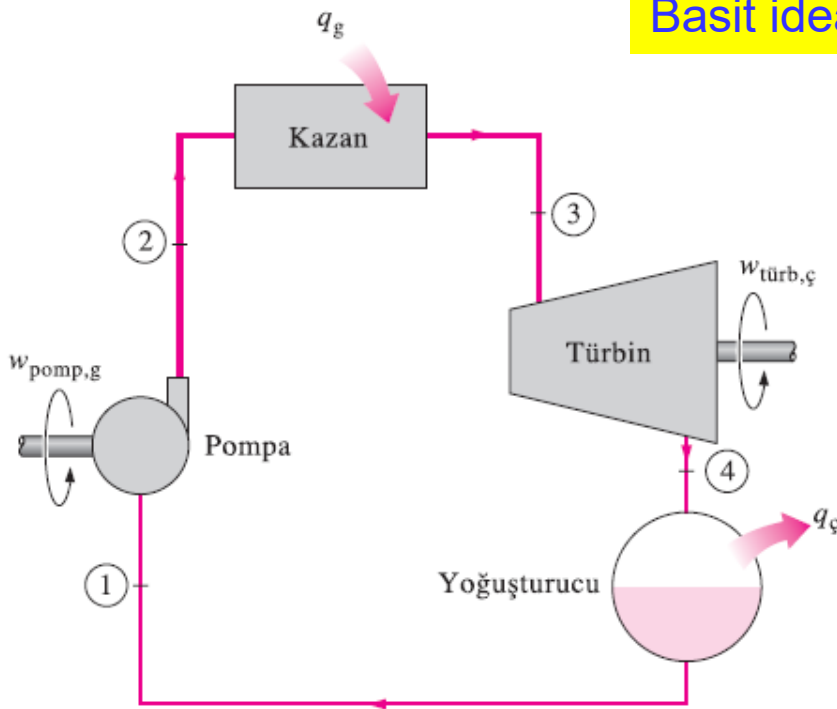


RANKİNE ÇEVİRİMİ: BUHARLI GÜÇ ÇEVRİMLERİ İÇİN İDEAL ÇEVİRİM

Carnot çevriminin uygulanmasında karşılaşılan sorunların bir çoğu, **kazanda suyun kızgın buhar haline ısıtılması** ve **yoğuşturucuda doymuş sıvı haline soğutulmasıyla** giderilebilir.

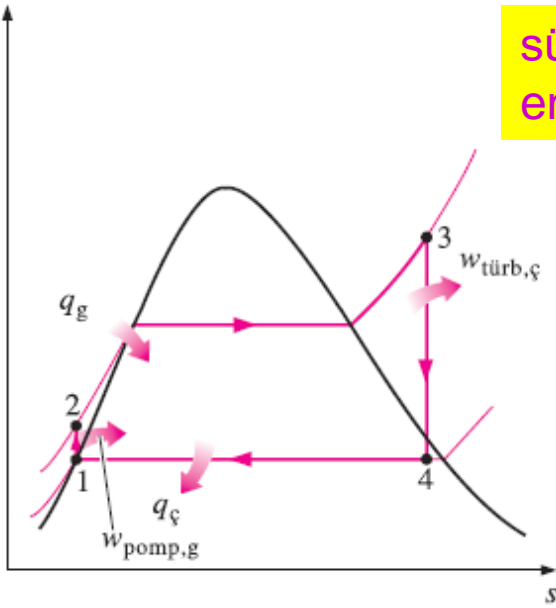
Oluşan bu çevrim, buharlı güç santrallerinin ideal çevrimi olan **Rankine çevrimidir**. İdeal Rankine çevrimi, içten tersinmezliklerin olmadığı dört hal değişiminden oluşur:

Basit ideal Rankine çevrimi



İdeal Rankine Çevriminin Enerji Çözümlemesi

sürekli akışlı
enerji denklemleri



Isıl verim aynı zamanda, çevrime ısı girişini gösteren eğrinin altında kalan alana oranı şeklinde yorumlanabilir.

$$(q_g - q_ç) + (w_g - w_ç) = h_{\text{çıkış}} - h_{\text{giriş}}$$

Pompa ($q = 0$):

$$w_{\text{pomp,g}} = h_2 - h_1$$

veya,

$$w_{\text{pomp,g}} = v(P_2 - P_1)$$

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 ($q = 0$):

$$w_{\text{türb,ç}} = h_3 - h_4$$

Yoğuşturucu ($w = 0$):

$$q_ç = h_4 - h_1$$

Rankine çevriminin ısı verimi

$$\eta_{\text{th}} = \frac{w_{\text{net}}}{q_g} = 1 - \frac{q_ç}{q_g}$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada

olmaktadır.

$$w_{\text{net}} = q_g - q_ç = w_{\text{türb,ç}} - w_{\text{pomp,g}}$$

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

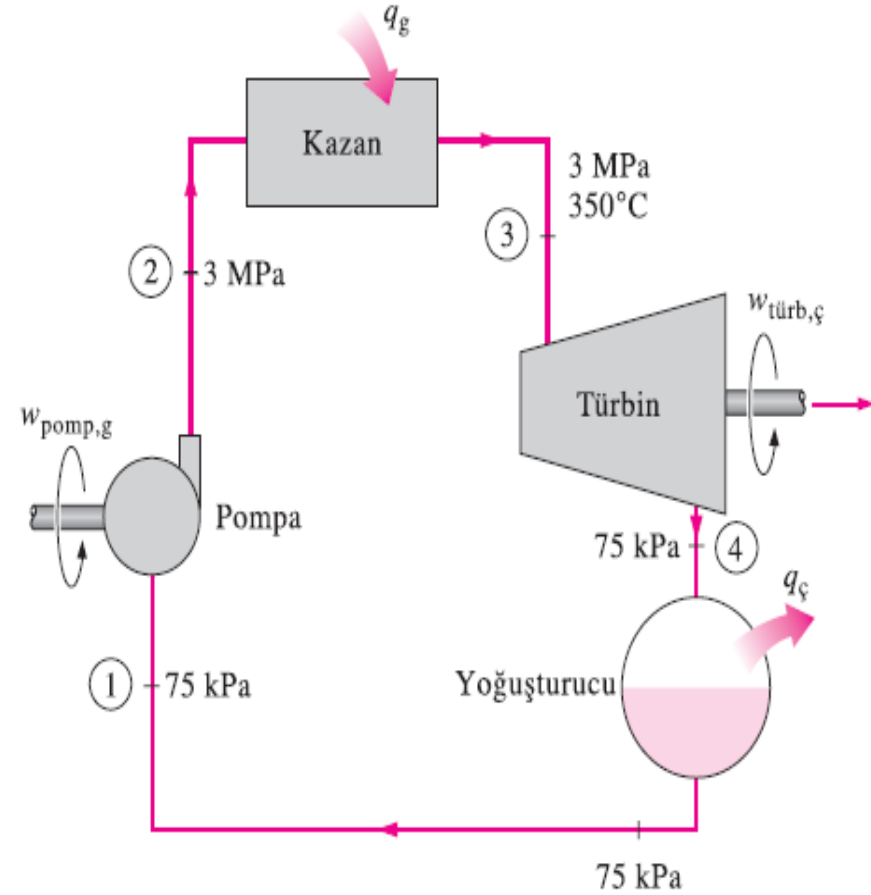
a)Giren ve çıkan ısı miktarlarıyla bul.?

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= $1-(q_{\dot{c}}/q_{\dot{g}})$ $q_{\dot{g}} = h_3-h_2$

(Kazandan çıkan (3) ve kazana giren(2))

$q_{\dot{c}} = h_4-h_1$

(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) , $s_4=s_3$

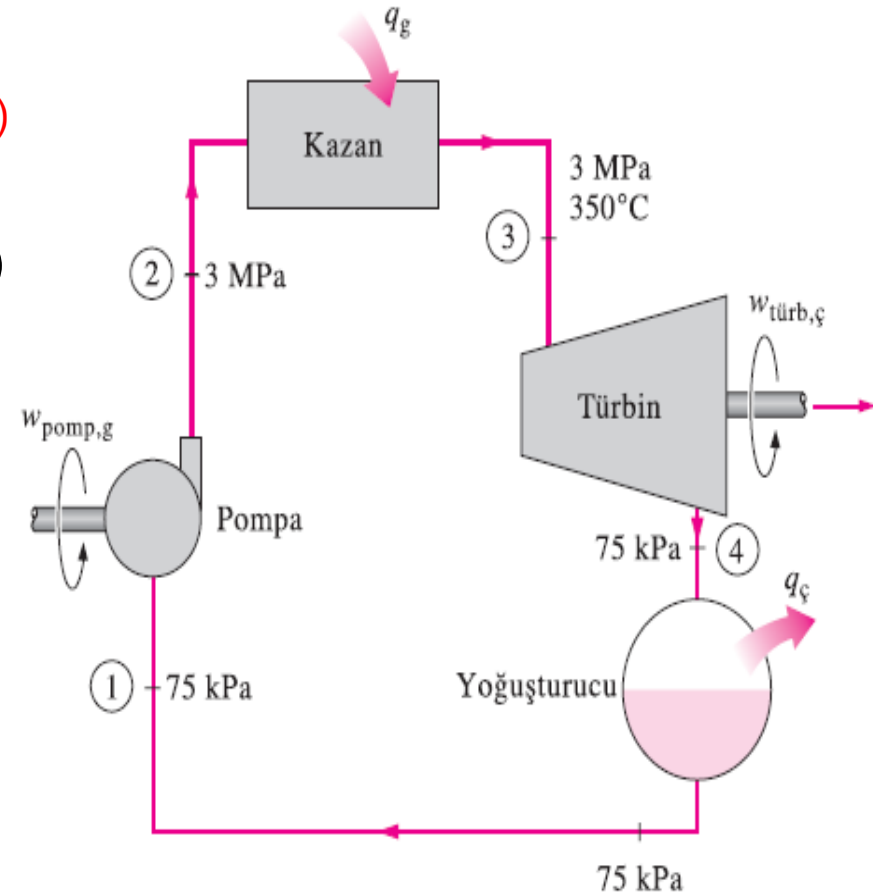
3.hal: $P_3=3$ Mpa, $T_3=350$ oC

(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.

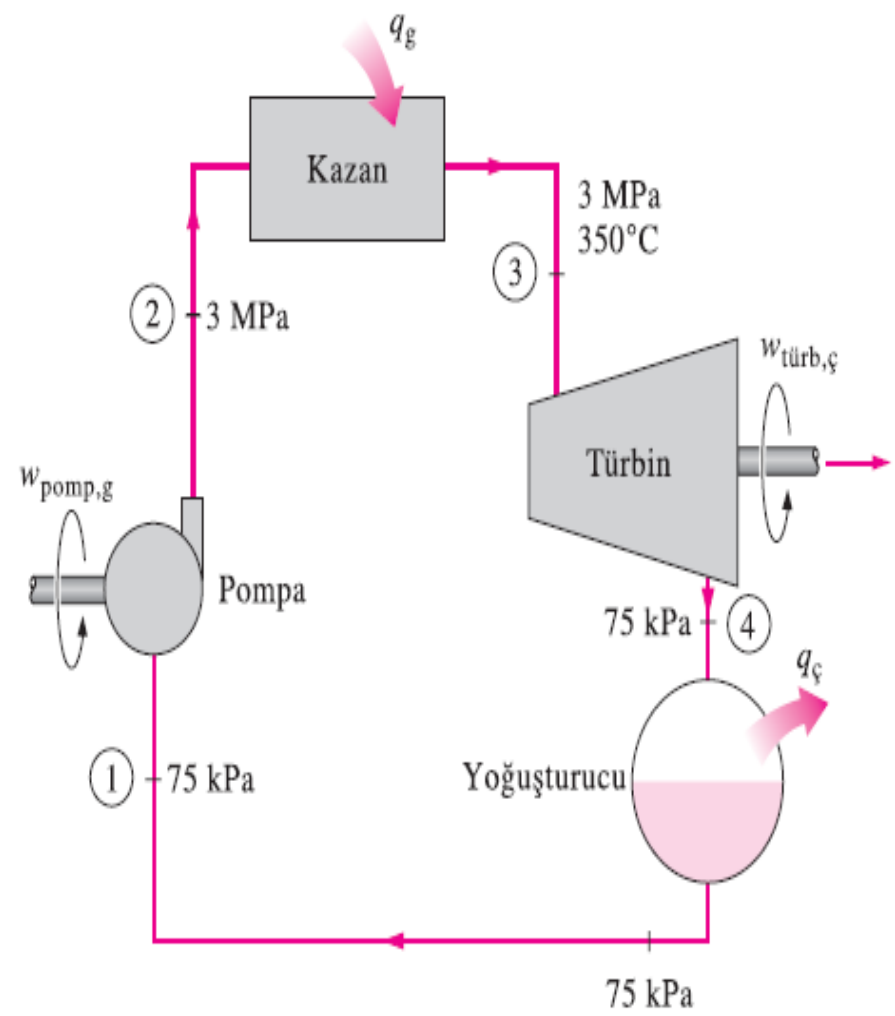


1.hal: $P_1=75 \text{ kPa}$, doygun sıvı
 $h_1=h_f(P_1=75 \text{ kPa}, A_5) = 384.44 \text{ kJ/kg}$
 $V_1=v_f = 0.001037 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $s_1=1.2132 \text{ kJ/kgK}$
 $W_p=v_1(P_2-P_1)=0.001037*(3000 -75)$
 $W_p=3.03 \text{ kJ/kg}$

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) , $s_4=s_3= 6.7450 \text{ kJ/kgK}$
 $h_4=h_f+xh_{fg} = ?$ $X=?$



$$x = (s_4 - s_f) / s_{fg} = (6.7450 - 1.2132) / 6.2426$$

$$x = 0.8861$$

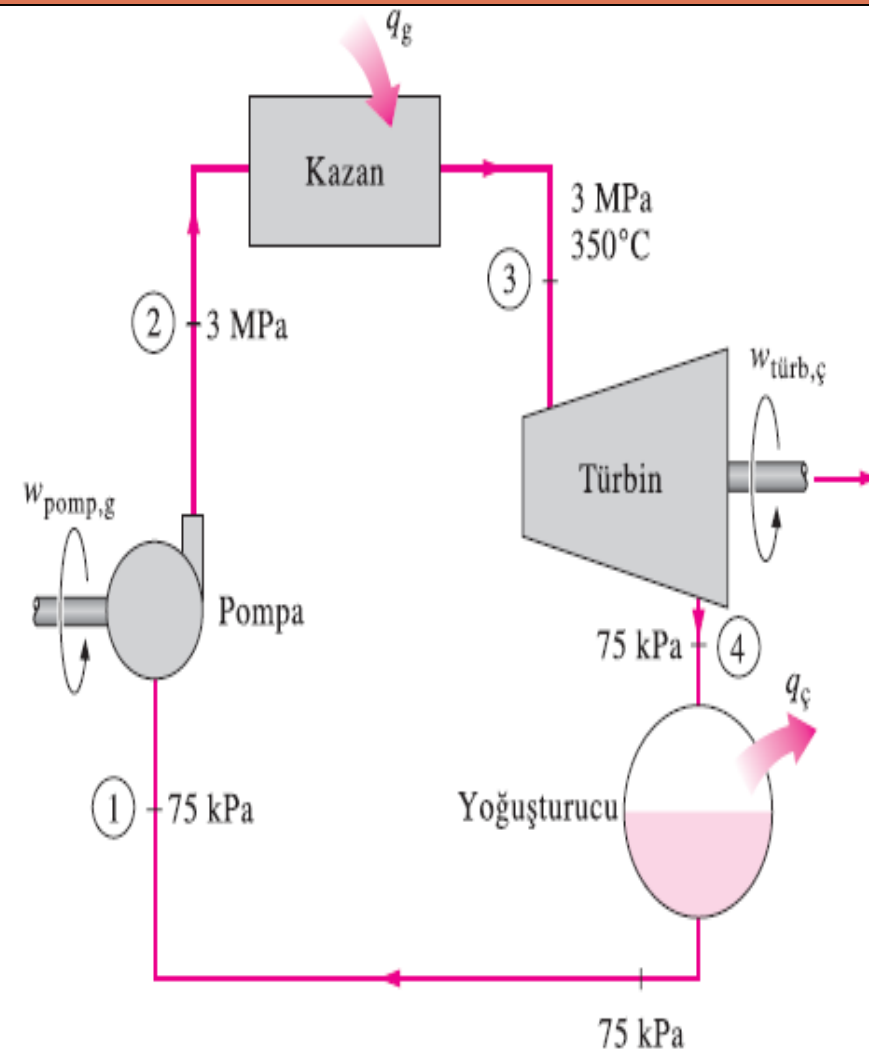
$$h_4 = h_f + x h_{fg} = 384.44 + 0.8861 \cdot (2278.0)$$

$$h_4 = 2403.0 \text{ kJ/kg}$$

$$q_g = h_3 - h_2 = 3116.1 - 387.47 = 2728.6 \text{ kJ/kg}$$

$$q_c = h_4 - h_1 = 2403.0 - 384.44 = 2018.6 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Verim} = 1 - (q_c / q_g) = 1 - 2018.6 / 2728.6 = 0.26$$



$$b) W_{\text{türbin}} = h_3 - h_4 = 3116.1 - 2403.0$$

$$W_{\text{türbin}} = 713.1 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{\text{net}} = W_{\text{türbin}} - W_{\text{pompa}}$$

$$W_{\text{net}} = 713.1 - 3.03 = 710.1 \text{ kJ/kg}$$

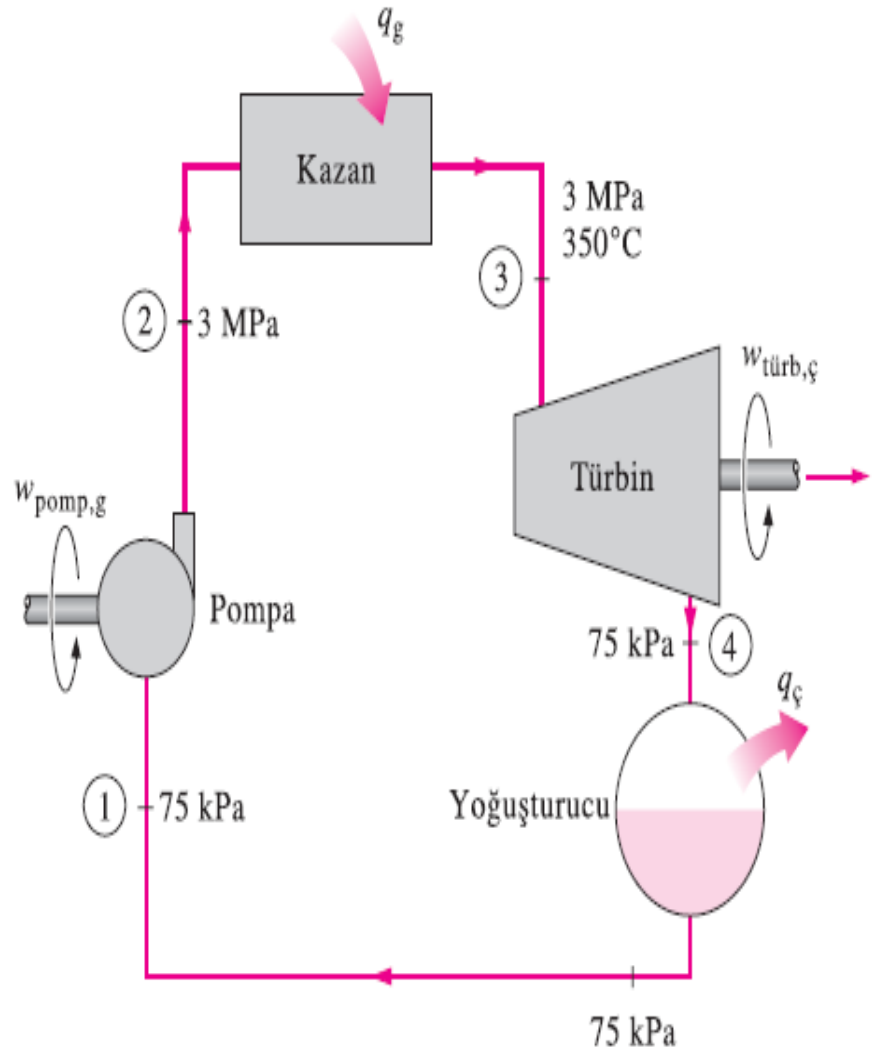
$$W_{\text{net}} = q_g - q_{\text{ç}} = 2728.6 - 2018.6$$

$$= 710 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Verim} = W_{\text{net}} / q_g = 710 / 2728.6 = 0.26$$

$$c) \text{ Carnot verimi} = 1 - T_L / T_H$$

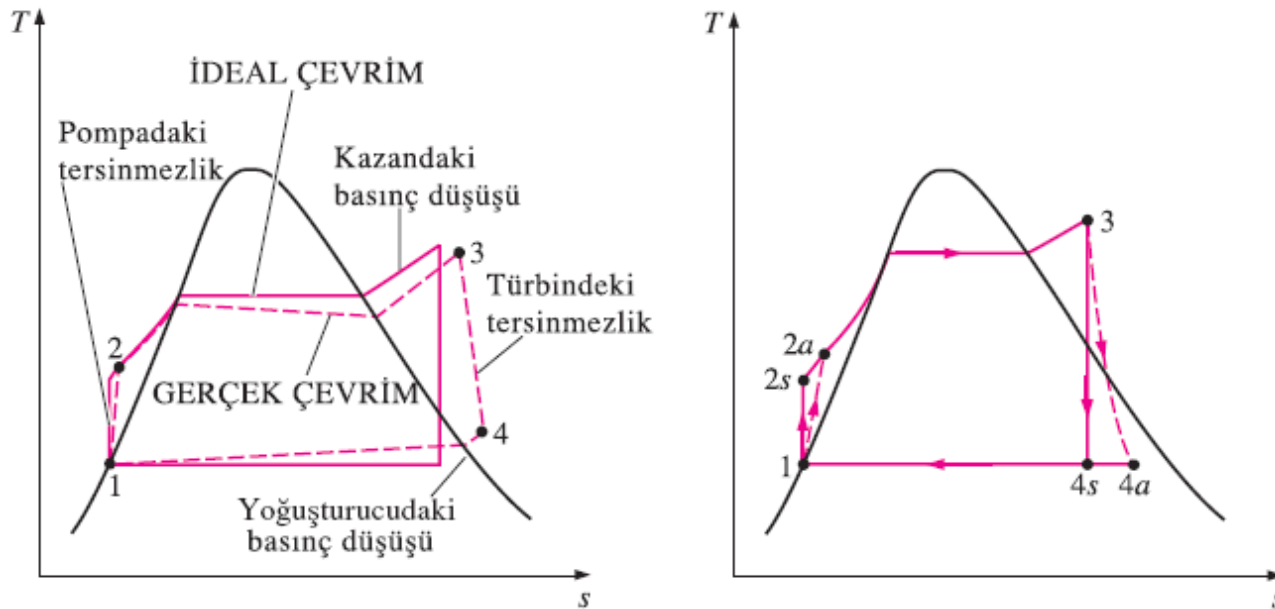
$$= 1 - (91.76 + 273) / (350 + 273) = 0.415$$



GERÇEK BUHARLI GÜÇ ÇEVİRİMİNİN İDEAL BUHARLI GÜÇ ÇEVİRİMİNDEN FARKI

Çeşitli tersinmezliklerden dolayı gerçek buharlı güç santrallerinin çevrimi, ideal Rankine çevriminden farklıdır.

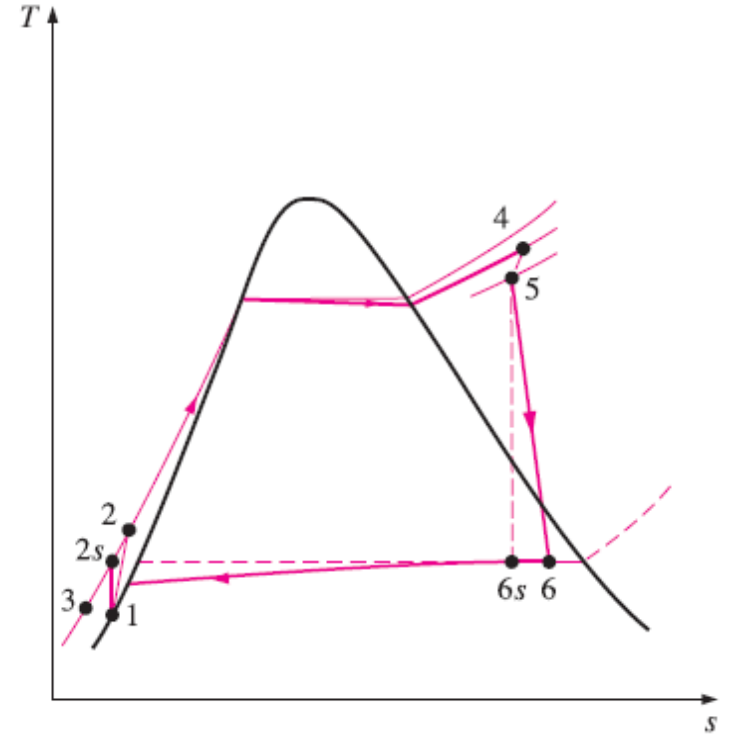
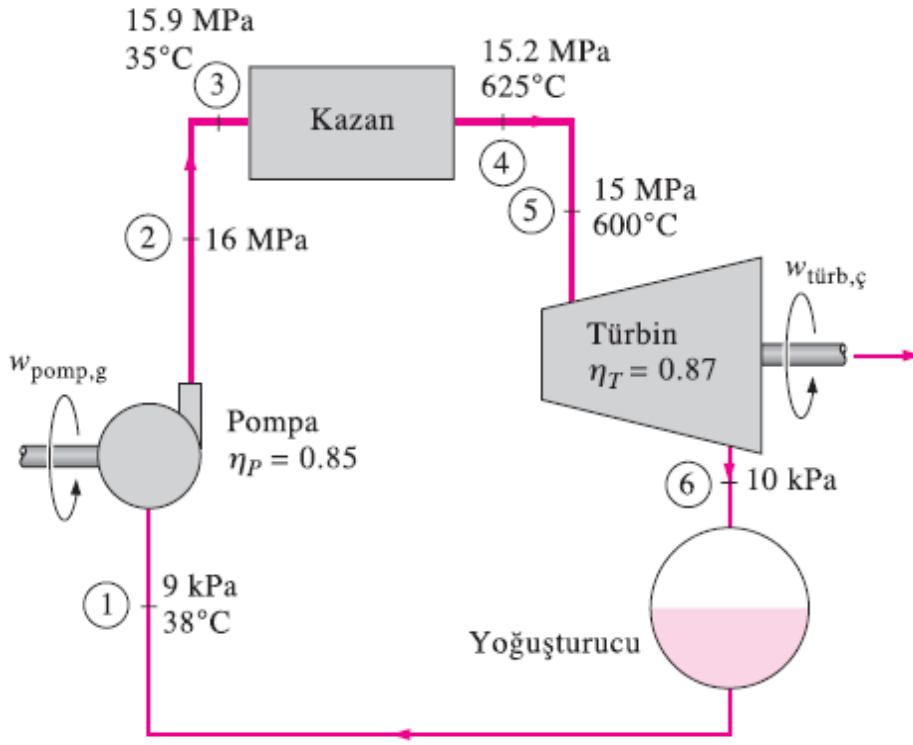
Sürtünme ve çevreye olan ısı kayıpları tersinmezliklerin başlıca iki kaynağıdır.



(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) $Verim = W_{net} / q_g$

$W_{net} = W_{t,\zeta} - W_{p,g}$

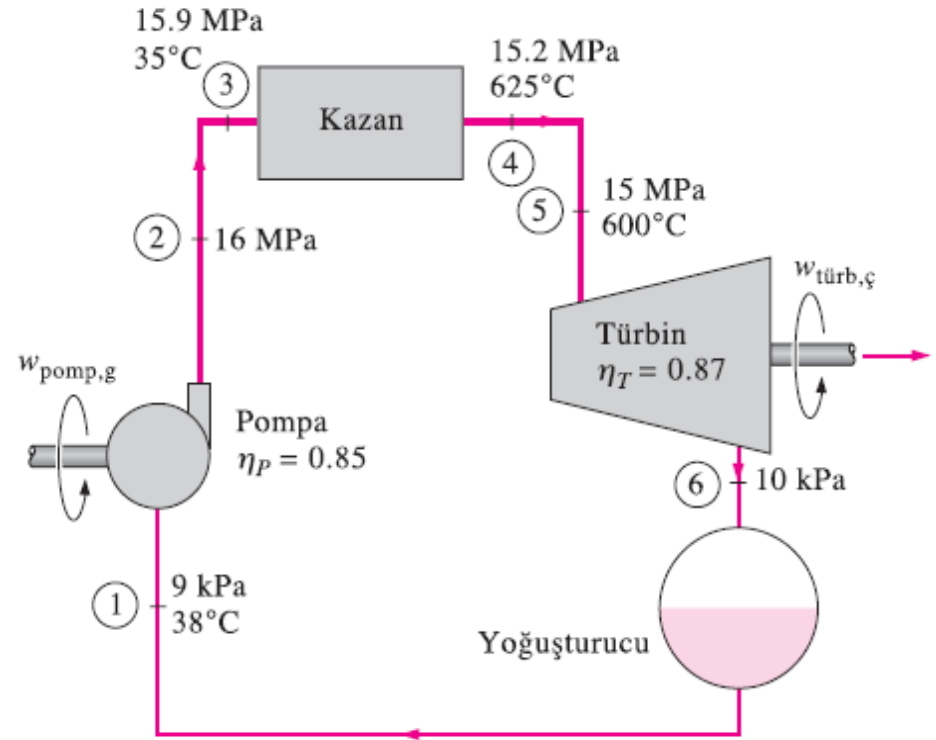
$q_g = h_4 - h_3$

$w_{türbin,\zeta} = h_5 - h_6$

$w_{türbin} = verim \cdot W_{t,\zeta}$

$W_{pompa} = W_{p,g} / Verim$

$W_{p,g} = v_1 \cdot (P_2 - P_1)$



$$W_{pomba} = W_{p,g} / \text{Verim}$$

$$W_{p,g} = v_1 * (P_2 - P_1)$$

$$= 0.001009 * (16000 - 9) / 0.85 = 19 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{t\u00fcrbin} = \text{Verim} * W_{t,\zeta}$$

$$W_{t,\zeta} = h_5 - h_6 = (0.87) (3583.1 - 2115.3)$$

$$= 1277 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_g = h_4 - h_3 = 3467.6 - 160.1$$

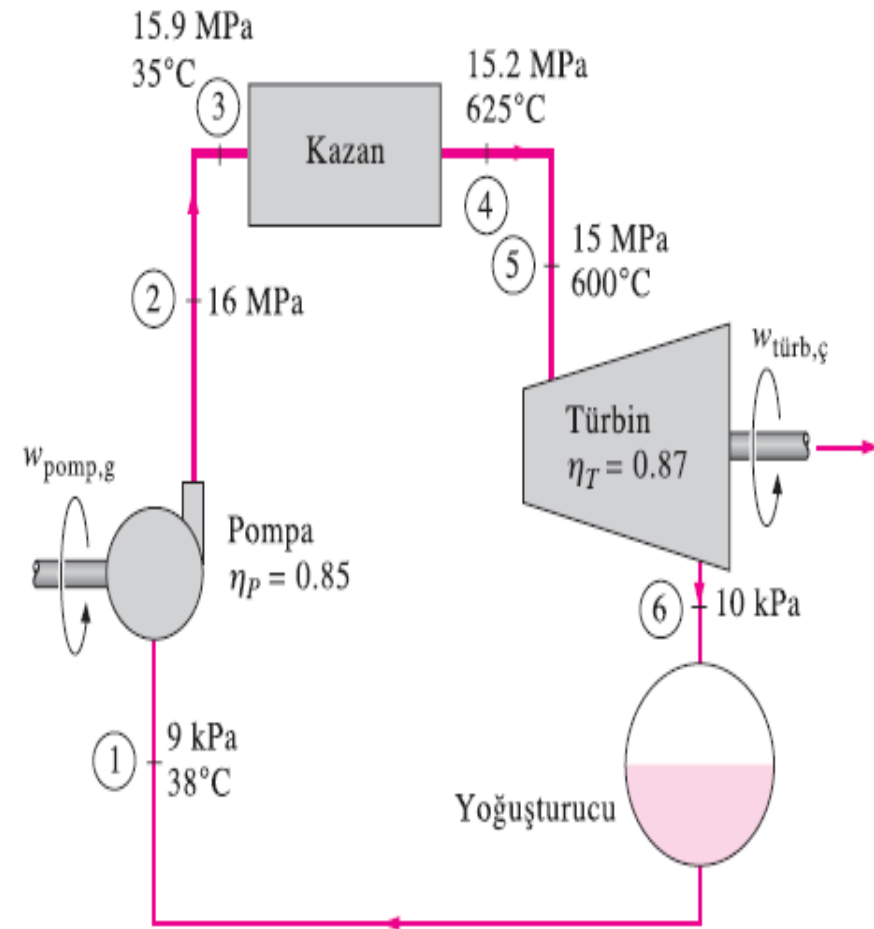
$$= 3487.5 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{net} = W_{t,\zeta} - W_{p,g} = 1277 - 19$$

$$= 1258 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Verim} = W_{net} / q_g = 1258 / 3487.5 = 0.36$$

$$b) W_{net} = m * w_{net} = (15)(1258) = 18.9 \text{ MW}$$

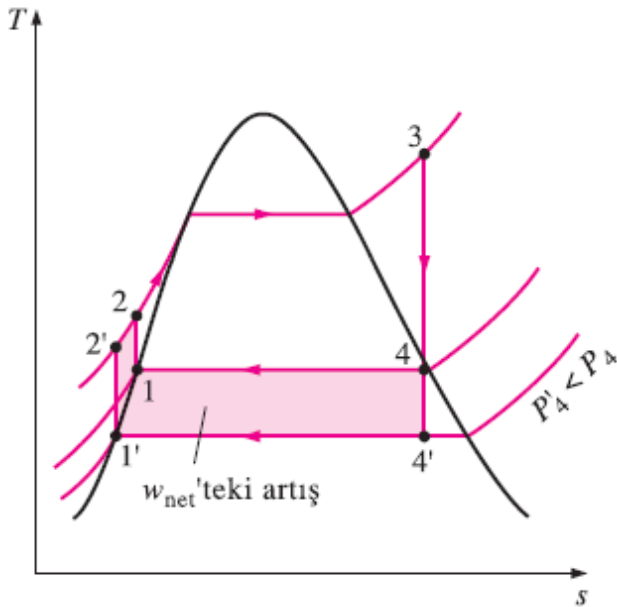


RANKİNE ÇEVİRİMİNİN VERİMİ NASIL ARTIRILABİLİR?

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 ısının atıldığı ortalama sıcaklığın düşürülmesi” şeklinde özetlenebilir.

Yoğuşturucu Basıncının Düşürülmesi ($T_{L,ort}$ 'yı düşürür)

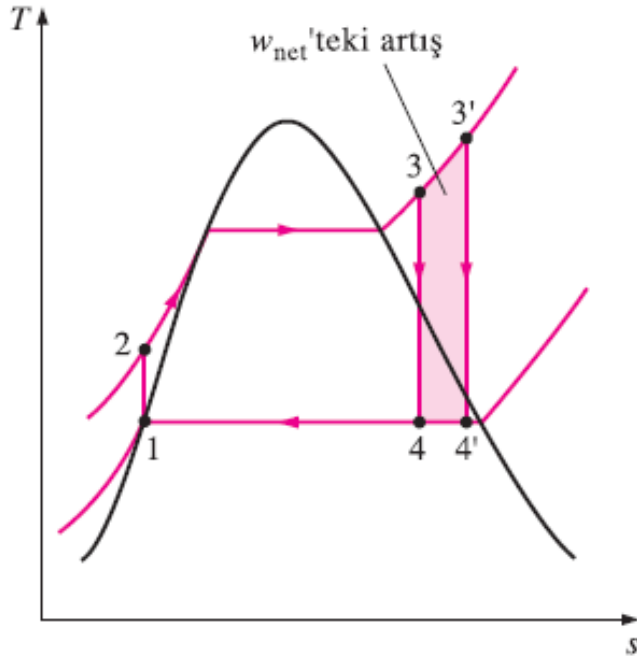


Düşük basınç sonucu ısı verimindeki artıştan yararlanmaya yönelik olarak buharlı güç santrallerindeki yoğuşturucular genellikle atmosfer basıncının oldukça altında çalıştırılırlar. Fakat yoğuşturucu basıncının düşürülebileceği bir alt sınır vardır.

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.

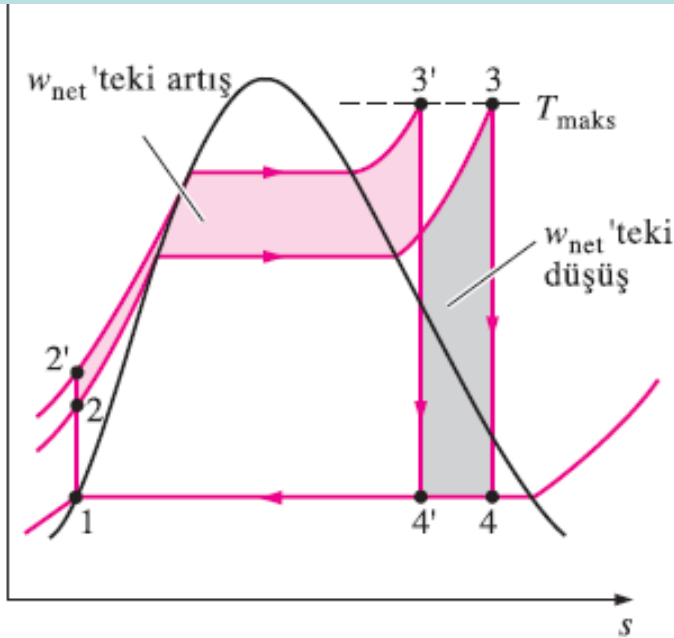
Buhara ısının verildiği ortalama sıcaklık, kazan basıncı yükseltilmeden buharın kızgın buhar bölgesinde daha yüksek sıcaklıklara ısıtılmasıyla artırılabilir. Kızdırmanın buharlı güç çevriminin performansına etkisi Şekil'de bir $T-s$ diyagramı üzerinde gösterilmiştir. Bu diyagramdaki renklendirilmiş alan 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.

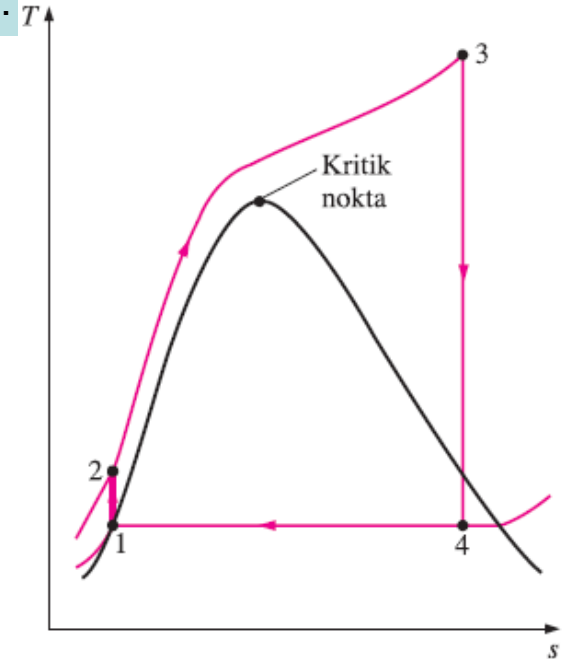
Kazan Basıncının Yükseltilmesi (T_H , ort 'yı yükseltir)

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.

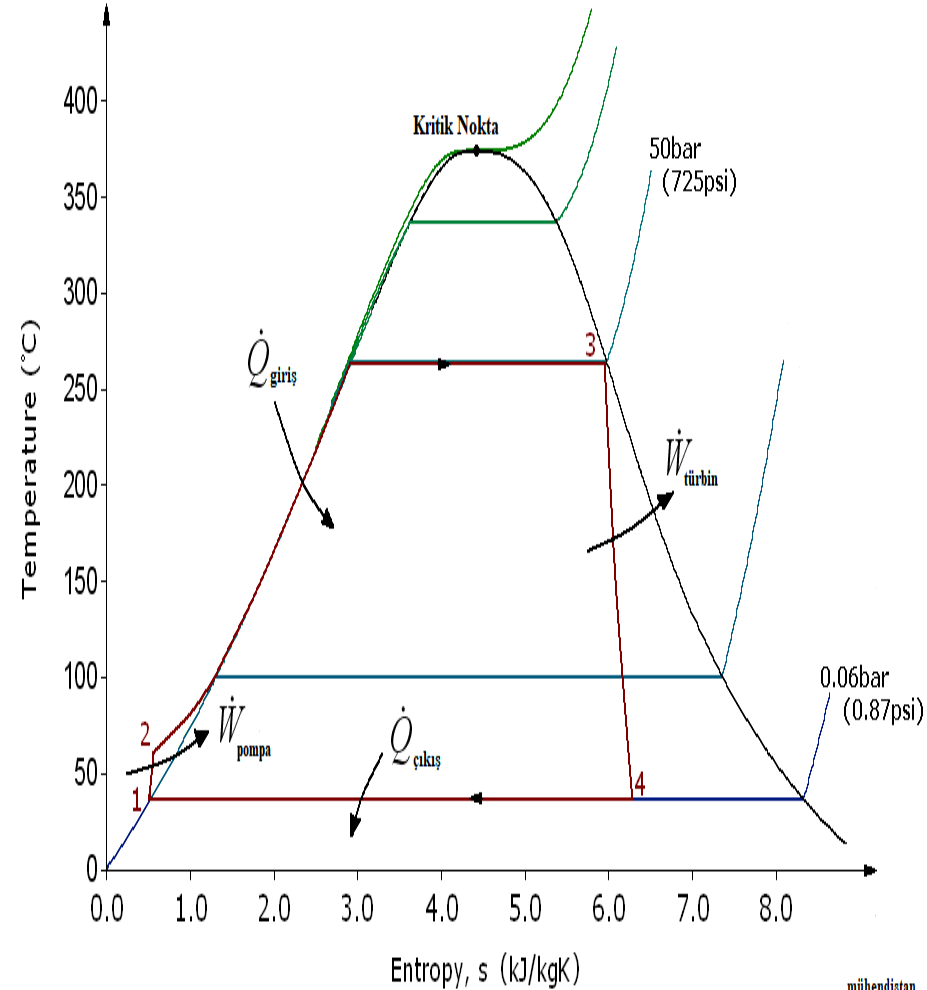


Kritik basınç üzerinde çalışan bir Rankine çevrimi.

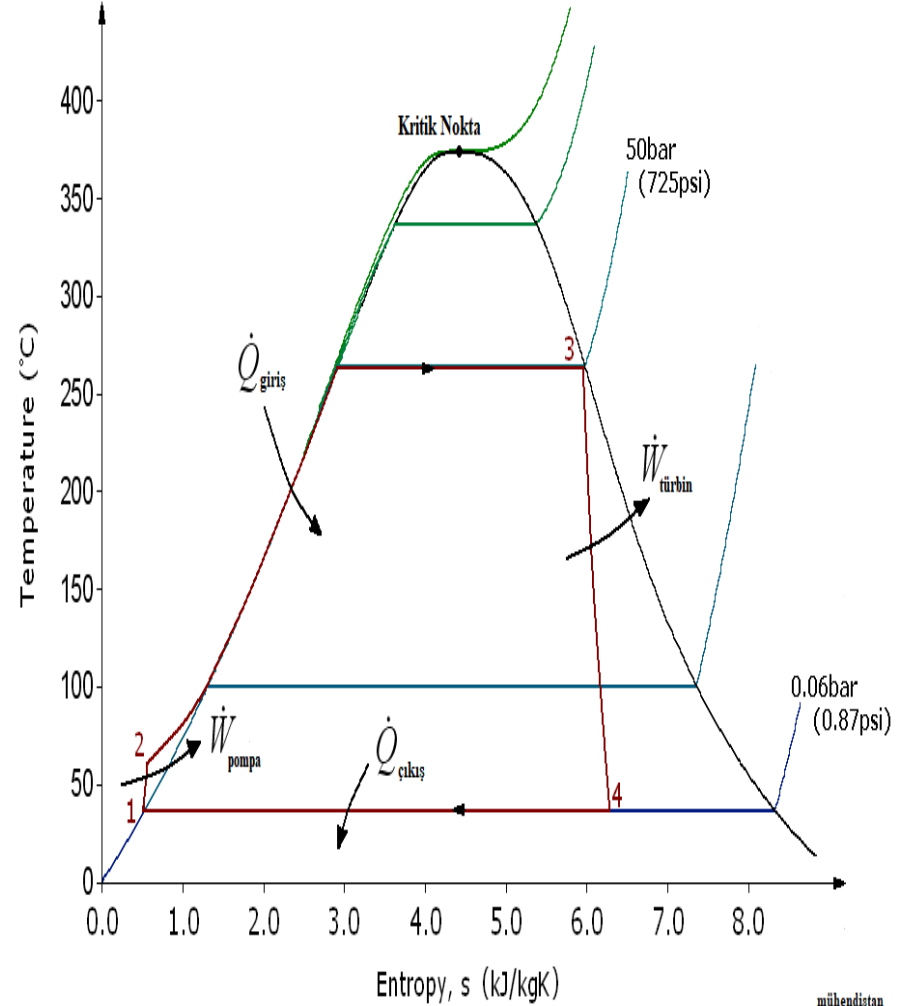
Rankine çevrimi 4 aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar, yukarıda gösterilen T-s diyagramında numaralandırılarak tanımlanmıştır

Aşama 1-2: Çalışma sıvısı (aracı akışkan) düşük basınçtan yüksek basınca pompalanır. Burada akışkan sıvı halde olduğundan dolayı pompaya az miktarda enerji girişi gerekir.

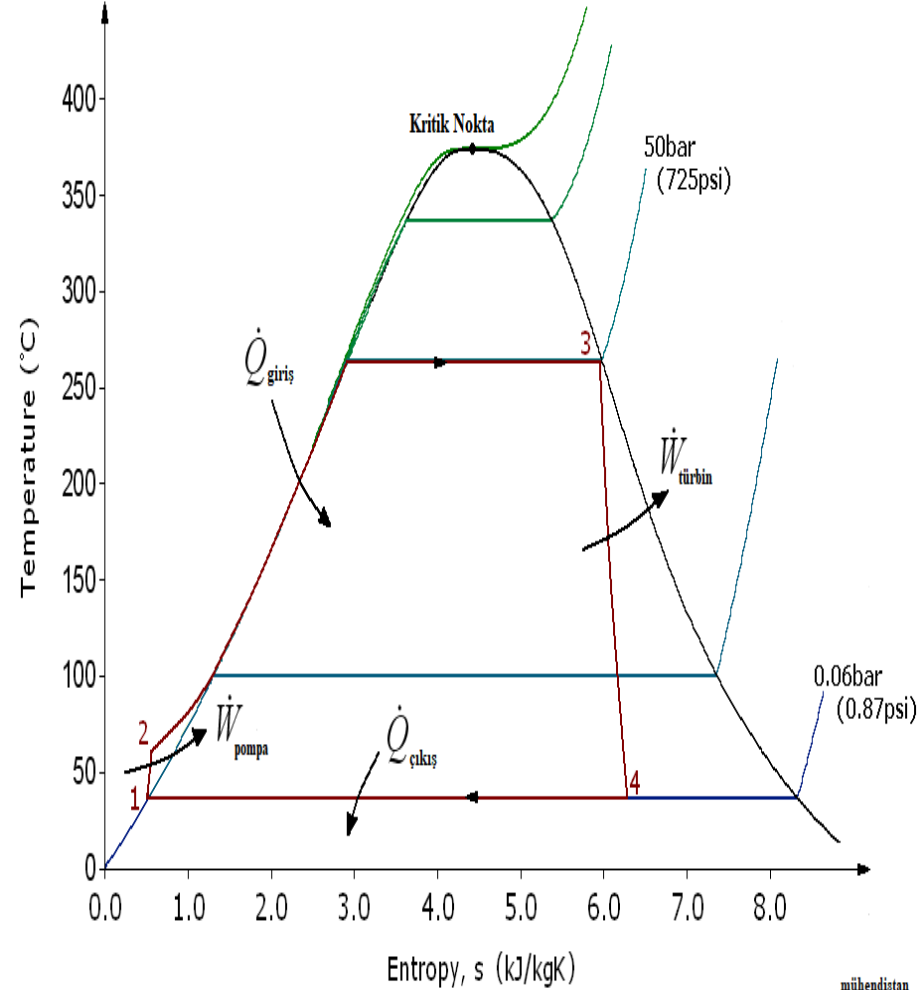
$w_{p,giriş}$ = Pompanın harcadığı iş = $v_1(P_2 - P_1)$



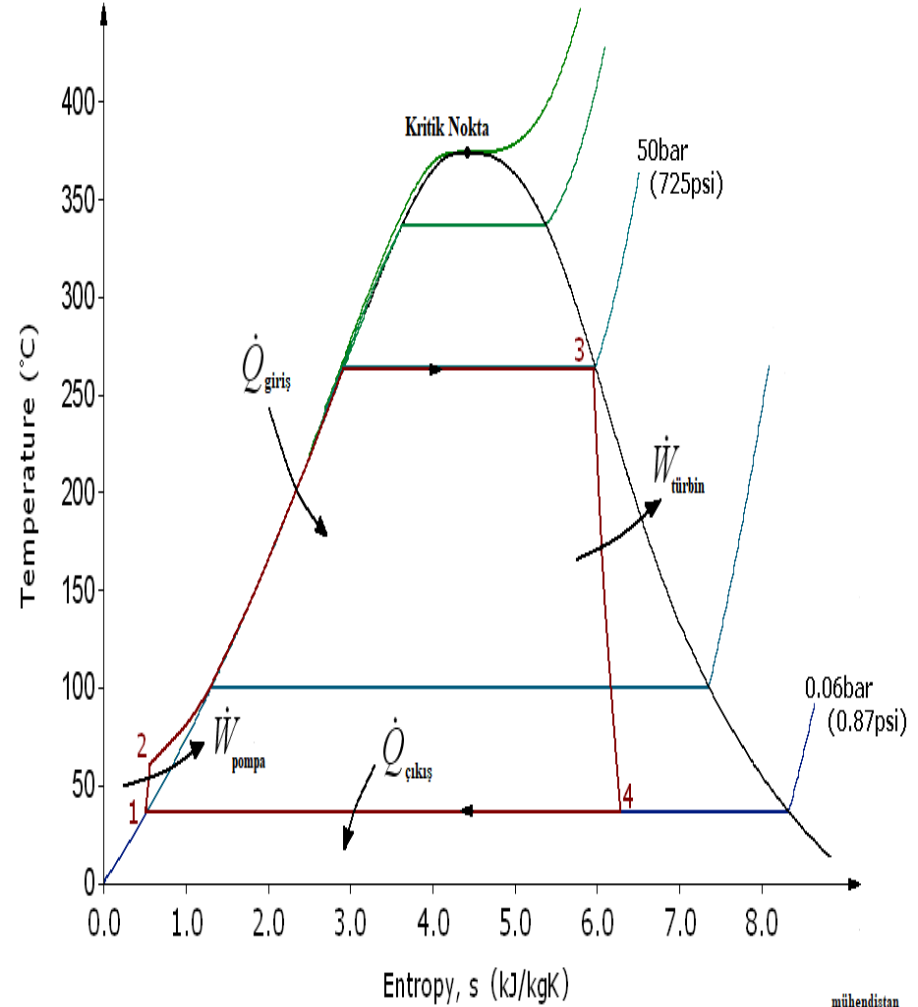
Aşama 2-3: Yüksek basınçtaki sıvı kazana giriş yapar, burada doymuş kuru buhar haline gelmesi için büyük bir ısı kaynağı tarafından sabit basınçta ısıtılır. Gerekli olan giriş enerjisi miktarı, entalpi-entropi tablosu (h-s grafiği) kullanılarak ya da sayısal olarak, buhar tabloları kullanılarak kolayca hesaplanabilir.



Aşama 3-4: Doymuş kuru buhar fazındaki çalışma sıvısı enerji üreten bir türbin boyunca genişler. Bu akışkanın ve buhar basıncını düşürür ve biraz yoğuşmaya 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.

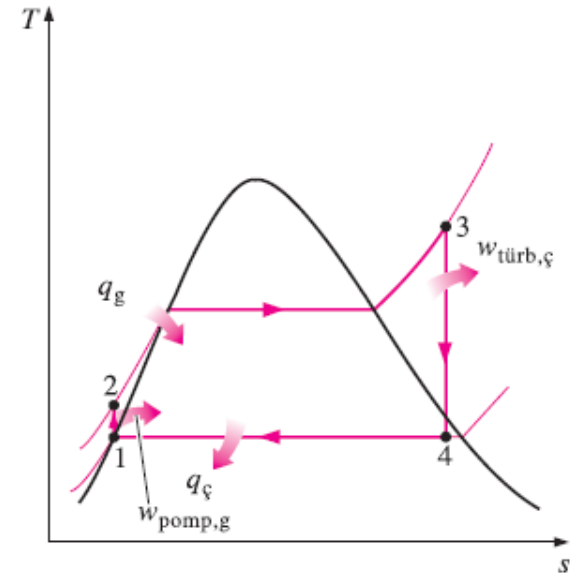
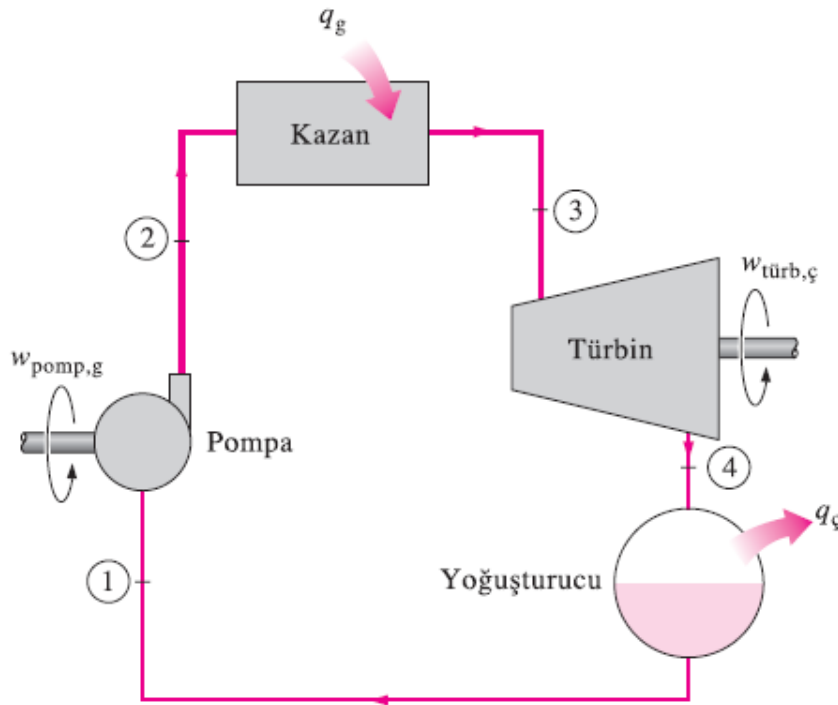
Bu sayede pompa ve türbin entropi üretmeyecek ve dolayısıyla yapılan iş maksimum olacaktır.

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 genişlettikten sonra buharın aşırı ısınma bölgesinde yoğunlaşmasını önler, bu da kondenserde oluşan enerji kaybını azaltır.

İdeal Rankine Çevriminin Enerji Çözümlemesi için yeni bir örnek

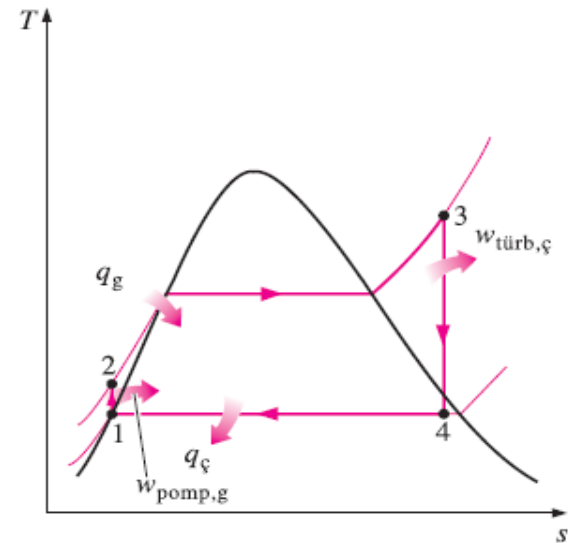
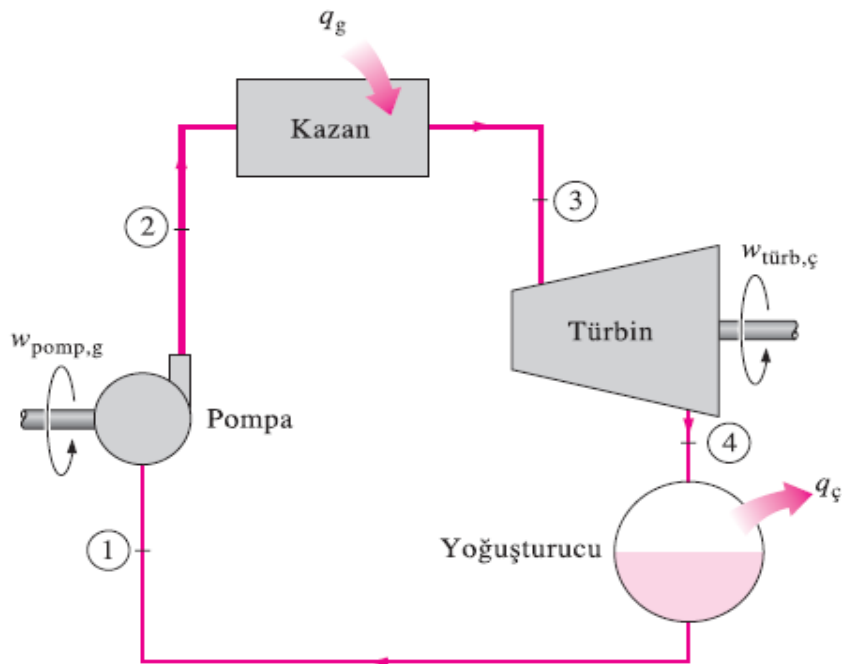
Çalıştırıcı akışkanı su buharı olan basit ideal Rankine çevriminin net gücü ve ısı verimi hesaplanacaktır. Çalıştırıcı akışkan su buharı türbine 10MPa basınçta doymuş buhar olarak girmektedir. Yoğuşturucu basıncı ise 20 kPa dır. Yoğuşturucu çıkış hali doymuş sıvıdır. Verimi bulunuz?



$$\text{Verim} = 1 - (q_{\text{çıkan}}/q_{\text{giren}})$$

$$q_{\text{giren}} = h_3 - h_2$$

$$q_{\text{çıkan}} = h_4 - h_1$$



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)

$x_4 = \text{Yoğuşturucuya giren su buharının kuruluk derecesi} = ?$

$$x_4 = (s_4 - s_f) / s_{fg} = ?$$

$s_3 = s_4$ (Bakınız TS diyagramı)

$s_f = 20 \text{ kPa}$ daki s_f

$s_{fg} = 20 \text{ kPa}$ daki s_{fg}

Basınç., P kPa	sıcaklığı., T_{doy} °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

$h_1 = \text{Pompaya giren suyun entalpisi} = h_f(20 \text{ kPa}) = 251.42 \text{ kJ/kg} \quad (\text{A-5})$

$v_1 = \text{Pompaya giren suyun özgül hacmi} = v_f(20 \text{ kPa}) = 0.001017 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (\text{A-5})$

$\text{Pompanın harcadığı iş} = w_{p,\text{giriş}} = v_1(P_2 - P_1) = 0.001017 (10000 - 20) = 10.15 \text{ kJ/kg}$

$h_2 = \text{Pompadan çıkan suyun entalpisi} = h_1 + w_{p,\text{giriş}} = 251.42 + 10.15 = 261.57 \text{ kJ/kg}$

$P_3 = 10 \text{ Mpa}$ 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:

$$x_{\text{dest},12} = 0 \quad \text{and} \quad x_{\text{dest},34} = 0$$

$$s_2 = s_1 = s_f @ 75 \text{ kPa} = 1.2132 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$
$$s_4 = s_3 = 6.7450 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad (\text{at } 3 \text{ MPa, } 350^\circ\text{C})$$

$$x_{\text{dest},23} = T_0 \left(s_3 - s_2 - \frac{q_{\text{in},23}}{T_{\text{source}}} \right)$$
$$= (290 \text{ K}) \left[(6.7450 - 1.2132) \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} - \frac{2728.6 \text{ kJ/kg}}{1600 \text{ K}} \right]$$
$$= 1109.7 \text{ kJ/kg}$$

$$x_{\text{dest},41} = T_0 \left(s_1 - s_4 + \frac{q_{\text{out},41}}{T_{\text{sink}}} \right)$$
$$= (290 \text{ K}) \left[(1.2132 - 6.7450) \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} + \frac{2018.6 \text{ kJ/kg}}{290 \text{ K}} \right]$$
$$= 414.4 \text{ kJ/kg}$$

Çevrimin tersinmezliği,

$$x_{\text{dest}, \text{cycle}} = x_{\text{dest},12} + x_{\text{dest},23} + x_{\text{dest},34} + x_{\text{dest},41}$$
$$= 0 + 1109.7 \text{ kJ/kg} + 0 + 414.4 \text{ kJ/kg}$$
$$= 1524.1 \text{ kJ/kg}$$

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.