

Termodynamik I

Ders 08: Termodynamikin İkinci Yasasına Giriş

ENERJİ → Değişikliklere neden olma yeteneğidir.
KORUNAN bir özelliktir.

Termodynamikin birinci yasası

Enerjinin korunumu

Enerji eşitliği

Enerji dengesi

Termodynamikin birinci yasasına uyumayan hal değiştirmi OLMAZ.
iki durumu göz önünde alalım,

- ① $T_{\text{ Gay }} = 60^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{ Oda }} = 22^{\circ}\text{C}$
-
- $T_{\text{ Gay }} > T_{\text{ Oda }}$ → Sınırda dışarıya doğru ısı geçisi.
Gay kısa sürede SOĞUR.

$$\left(\begin{array}{l} \text{(Gaya kaybettigi)} \\ \text{enerji miktarı} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{(Oda havasının)} \\ \text{karadığı enerji} \end{array} \right)$$

$\underbrace{\hspace{10em}}$

Hal değiştirmi termodynamikin
birinci yasasına uygundur.

- ② $T_{\text{ Gay }} > T_{\text{ Oda }} \Rightarrow$ Serin odada bulunan havadan
fayla ısı geçisi olursa, fayın
sıcaklığı da her zaman artar.

Bu hal değiştirmi kendi kendine gereklesmez.

Gereklesseydi:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{(Gaya havanın)} \\ \text{(kaybettigi enerji)} \\ \text{miktarı} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{(Gaya karan-)} \\ \text{(digi enerji)} \\ \text{miktarı} \end{array} \right\} \text{ olurdu}$$

①

Hal değişimini termodynamikin birinci yasasına uygun!

1. ve 2. durum ıdari sonuc:

Hal değişimleri belirli bir yönde gerçekleşir. Tersi
yönde gerçekleşmez.

Termodynamikin
birinci yasası } Hal değişimlerin yönü ıdari KISITLAMA kaymaz.
} Termodynamikin birinci yasasının sağlanması hal
değişimlerin mutlaka gerçekleşeceği onlamına da
GELMEZ.

Bu durumda termodynamikin ikinci yasasına başvurulur.

Fay örneğindeki gibi, ters yöndeki hal değişimleri termodynamikin
ikinci yasasına AYKIRIDIR. Bu aykırılık
ENTROPI değişim ile ortaya konulacaktır.

Bir hal değişimini ancak termodynamikin birinci yasasını ve
termodynamikin ikinci yasasını BIRLIKTE sağladığı zaman
GEREKLİSİR.

Hal değişim → 1. Yasa → 2. Yasa → Geçerlidir.

Termodynamikin ikinci yasası:

- * Hal değişimlerin yönünden belirler.
- * Enerjinin niteligi yaninda niteligi de belirler.

Termodynamikin birinci yasası → nitelikle ilgilenmez.
Enerjinin niteligi (miktari ile) ve bir birimde
digerine dönüştüm ile ilgilenir.

(2)

$PE \rightarrow KE$ 'ye dönüştür.

Enerjisin toplam miktarı sabit kalır.

- * Enerjisin niteliği ve bir hal değişimini sırasında bu niteliğin nasıl olduğuının belirlenmesini sağlar.
Yüksek nitelikteki (örneğin sıcaklığı) enerjinin büyük bir bölümü ise dönüştürülür.

Arapçası: Buhar türbinleri verme

Su türbinleri verme

- * Isı makinası ve soğutma makinası verimlerinin teorik sınırlarının belirlenmesine yardımcı olur.
- * Kimyasal reaksiyonların tamamlanma orasını belirler.
- * Kusursuzluk durumunu tanımlar. Kusur kuru ortadan kaldırılmasında kullanılır.

İsıl enerji depoları:

Sıcaklığında bir değişim olmalarını,
sonra miktarde ışığı verebilecek
ya da alabilecek boyutlarında
isıl enerji sığasına sahip varsa-
yinçal bir sistem, İSİL ENERJİ DEPOSU
olarak istilendirilir.

İsıl enerji sığası: $kütte \times \delta z g \bar{z} \bar{l}$ isi
(J/K)

İsıl enerji depoları	Atmosferik hava	Karar
	Okyanuslar	Güneş
	Göller	İki fazlı sistem (Öm; ıslak buhar)
	Akarsular	Nükleer reaktör

İsıl enerji kaynağı → Isıl enerjisi sağlayan depo

İsıl enerji kuyusu → Isıl enerjisi abn depo

Arastırı Isıl kırzenie!

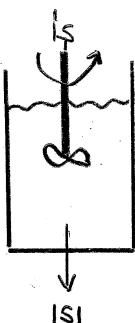
Isıl enerji depoları, termodynamikin ikinci yasasını açıklamaya çalışılırken kullanılıraktır.

Is → kolaylıklar enerjinin diğer bitimlerine dönüştürülebilir.

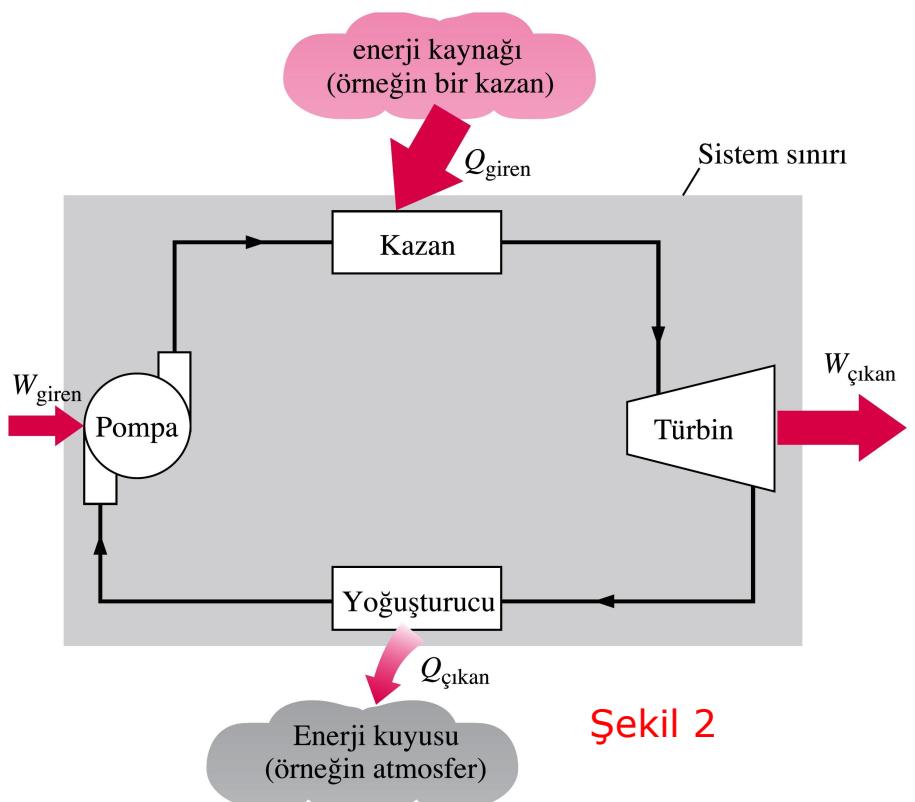
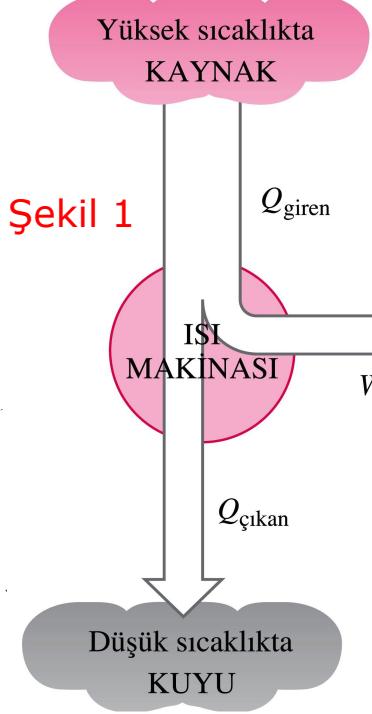
✓ Elektrik enerjisi → elektrikli ısıtıcı → Isı enerjisi

✓ Suyun içindedeki dönen mil (mekanik Is) → önce suyun Is enerjisini artttır → Isınan sudan genreye Isı geçti olur.

Ama suya Isı geçti olunca mil dönmey!



Isınış işle dönüştürülebilmesi için bazı özel düzeneklere gerek duyarlı. Bu düzenekler ISI MAKİNALARI olarak isimlendirilir.



Isı makinaları, Şekil 1 ile sematik olarak verildiği gibi, yüksek sıcaklığındaki bir kaynaktan ısı alırlar. (Q_{giren})

Bu ısıyı bir kısmı işe dönüştür. ($W_{net, çikan}$)

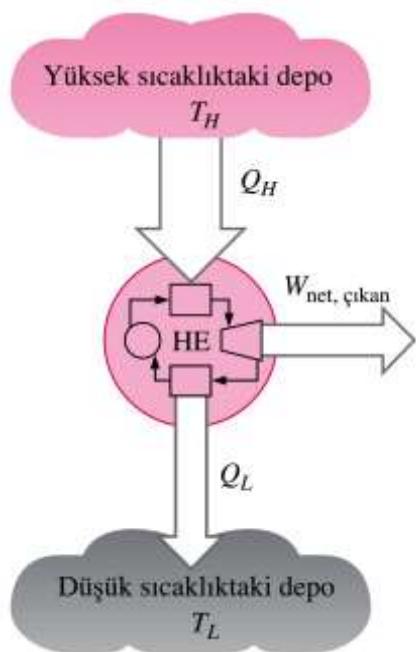
Geri kalan enerjiyi ise düşük sıcaklığındaki bir kuyuya verir. ($Q_{çikan}$)

Böylece bir GEURIM tamamlanır.

Geurimde bir İŞ AKIŞKANI kullanılır.

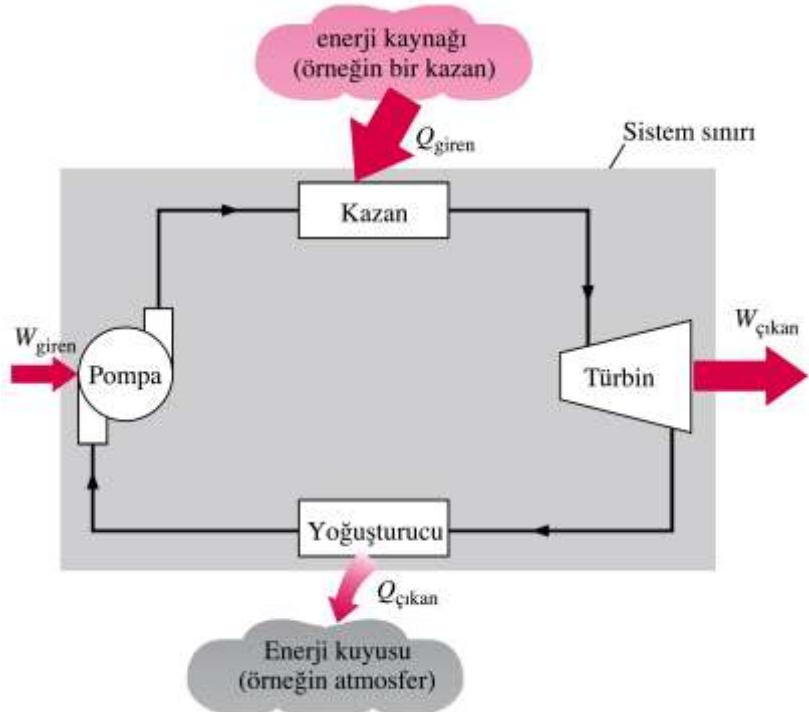
Şekil 2 ile, distan-yonmali bir makina olan buharlı gazi santrali verilmisti. Bu santral ısı makinasına iyi bir örnektr.

Burada; $W_{net, çikan} = \underbrace{W_{çikan}}_{\text{Turbinden çıkış}} - \underbrace{W_{giren}}_{\text{Pompayla girer}}$ olmaktadır.



Şekil 3

Şekil 2 için ayrıntılı açıklama:



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

$Q_{\text{çıkın}}$ = Yoğuşturucuda buhardan düşük sıcaklıktaki kuyuya (atmosfer, akarsular vb.) geçen ısı miktarı.

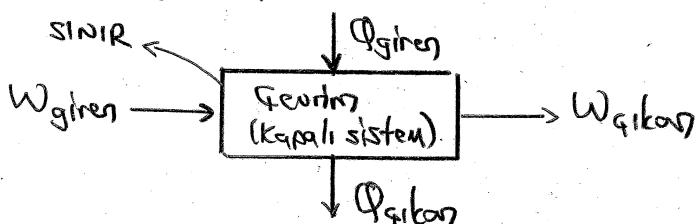
$W_{\text{çıkın}}$ = Türbinde genişlerken buhar tarafından üretilen iş miktarı.

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

İş malzemeleri, Şekil 3 ile verildiği gibi sematik olarak da gösterilebilir.

Buharlı güç santrali için enerji dengesi:

Dikkat: Santrale ait herbir eleman (pompa, kazan, türbin ve yoğunlaştırıcı) sürekli akışlı düzeneğ olarak alınabilir. Sistem sınırları Şekil 2'deki gibi çizildiğinde ise bu çevrimiçi kapalı bir sistem olmaktadır.



$$E_{\text{giren}} - E_{\text{qikan}} = \Delta E_{\text{sistem}} \quad (\text{J})$$

$$= 0 \text{ J} \quad (\text{Furnas için } \Delta E_{\text{sistem}} = 0 \text{ J} \text{ olur})$$

$\begin{matrix} Q_{\text{giren}} \\ W_{\text{giren}} \end{matrix}$ $\begin{matrix} Q_{\text{qikan}} \\ W_{\text{qikan}} \end{matrix}$

$$Q_{\text{giren}} + W_{\text{giren}} - Q_{\text{qikan}} - W_{\text{qikan}} = 0$$

$$Q_{\text{giren}} - Q_{\text{qikan}} = W_{\text{qikan}} - W_{\text{giren}} \quad (\text{J})$$

$\underbrace{W_{\text{net},\text{qikan}}}_{W_{\text{net},\text{gikan}}}$

$$\text{İş malzeme} = \frac{\text{Elde edilen net iş}}{\text{Toplam giren iş}}$$

* Q_{giren} olmasa, W_{qikan} olursa. Kullandılan iş ise $W_{\text{net},\text{qikan}}$ kadar olur.

$$\eta_{\text{İşM}} = \frac{W_{\text{net},\text{qikan}}}{Q_{\text{giren}}} = \frac{Q_{\text{giren}} - Q_{\text{qikan}}}{Q_{\text{giren}}} = 1 - \frac{Q_{\text{qikan}}}{Q_{\text{giren}}}$$

$$Q_{\text{qikan}} = 0 \text{ J} \text{ olursa} \rightarrow \eta_{\text{İşM}} = 1 \quad (\%100), (\text{mümkin değil})$$

$0 \leq \eta_{\text{İşM}} < 1$

$$Q_{\text{gizl}} \rightarrow Q_L \quad \text{İş kayusu sıcaklığı} \rightarrow T_L$$

$$Q_{\text{gizl}} \rightarrow Q_H \quad \text{İş kaynağı sıcaklığı} \rightarrow T_H$$

$$\eta_{\text{ISI}} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} \quad (0 \leq \eta_{\text{ISI}} < 1)$$

$$(\%0 \leq \eta_{\text{ISI}} < \%100)$$

Buji-ateşlemeli otomobil motoru: $\eta_{\text{ISI}} \approx \%30$

Diesel motor ve büyük gaz türbini santrali: $\eta_{\text{ISI}} \approx \%45$

Birlesik gaz-buhar türbini santrali: $\eta_{\text{ISI}} \approx \%60$

- \%100 mümkün değil -
(Fıre kırılığısı)

Q_{gizl} olmayıabilir mi?: Bir insanı elektrikle ısıtma, yürüyebilmesi, konuşabilmesi,... için enerjiye ihtiyaç vardır. Enerji de yiyeceklerden alınır. Yiyeceklerden alınan enerji ise döndürken kaybolamayan bir kismı ise dışarıya disk olarak atılır. (Q_{gizl})

(Bu konu entropi anlatılarında tekrar elektrikle alınacaktır).

Q_{gizl} olmadan çevrim tamamlanamaz.

Kelvin-Planck İfadesi: Termodynamik bir çevrim gerçeklestiren bir makina, yalnızca bir kaynaktan iş alıp net iş üretemez.

Verimi \%100 olan bir işi malzeme yapmak olanaklıdır.

Kelvin-Planck İfadesi negatif ve mümkün olmayan işlemi belirttiğinden dolayı ispat edilemez. (Deneyler bu ifadenin doğruluğunu göstermektedir.)

Bir ısı makinasının %100 ısı verme sahip olamaması, sertleşme veya diğer kayplardan kaynaklanmaktadır. $\dot{Q}_{\text{G}} \text{dan}$ kaynaklanmaktadır. \dot{Q}_{G} 'in yanında sertleşme ve diğerleri de ayrıca verimi düşürürler.

Gerçek ve ideal ısı makinalarında ısı verme hiçbir zaman \dot{Q}_{G} 'dan dolaylı %100 olamaz.

Ömek: 2019 yılında ABD'de 3,88 trilyon kWh miktarında elektrik enerjisi üretimi ve bu üretimin %51 kadar kömürle çalışan elektrik santrallerinden elde edilmiştir. Ortalama ısı verimi %34 ve kömürün ısı değeri 30 MJ/kg olarak alınır ve 2019 yılındaki kömür tüketimini ton olarak hesaplayın.

Kömürden üretilen elektrik enerjisi miktarı:

$$\begin{aligned} W_{\text{net}} &= (0,51) (3,88 \cdot 10^{12} \text{ kWh}) \\ &= 1,98 \cdot 10^{12} \text{ kWh} \\ &= 1,98 \cdot 10^{12} \text{ kWh} \cdot \frac{1 \text{ M}}{10^3 \text{ k}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \\ &= 7,128 \cdot 10^{12} \text{ MJ} \end{aligned}$$

Isı verimi: $\eta_{\text{isi}} = \frac{W_{\text{net}}}{\dot{Q}_H} \rightarrow 0,34 = \frac{7,128 \cdot 10^{12} \text{ MJ}}{\dot{Q}_H}$

$$\dot{Q}_H = 2096 \cdot 10^{12} \text{ MJ} \quad (\text{Kullanılan kömürün ısı değeri})$$

Isı değeri: Bir yeltenin birim kostesinin tam olarak yakılması sonucu doğa giden ısı miktarı.

$$Q_H = (\text{isıl değer}) \cdot m \quad (\text{J})$$

$\downarrow \text{J/kg}$ $\downarrow \text{kg}$

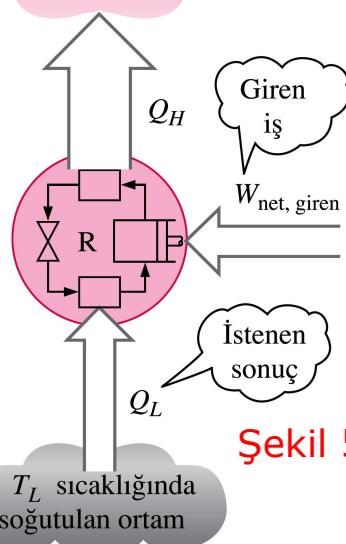
$$20,86 \cdot 10^{12} \text{ MJ} = (30 \text{ MJ/kg}) (m)$$

$$m = 6,986 \cdot 10^{11} \text{ kg}$$

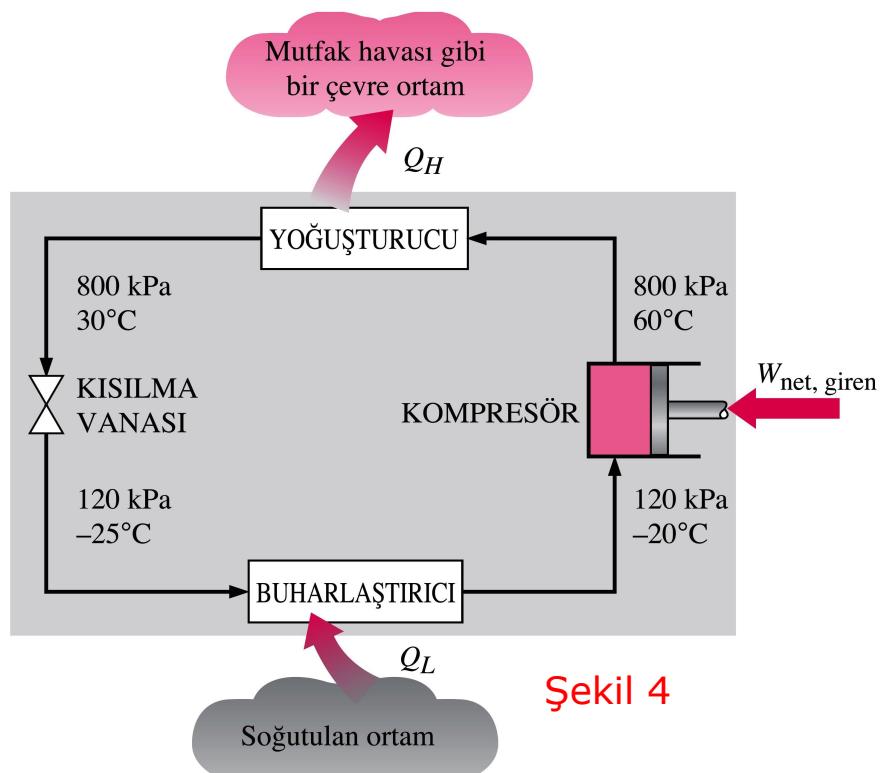
$$m \approx \underline{\underline{0,706 \text{ ton}}}$$

Sogutma Makinaları:

$T_H > T_L$ sıcaklığında ılık ortam



Sekil 5



Sekil 4

Düşük sıcaklıklı bir ortamdan yüksek sıcaklıklı bir ortamı ısı geçisi kendilikinden olusmaz (termodynamikin ikinci yasası gereği) ve soğutma makinaları denilen özel makinaların kullanılmasını gerektirir.

Soğutma çevriminde kullanılan iş akışkanına soğutucu akışkan (R: refrigerant) denir.

Buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminde kullanılan 4 ana eleman Şekil 4 ile verilmiştir. Lütfen Şekil 4'si ayrıntılı olarak inceleyiniz.

Soğutma makinası çevrimi sematik olarak Şekil 5 ile verildiği gibi çizilebilir:

Bir soğutma makinanının verimi ETKİNLİK KATSAYISI ile ifade edilir.

SEK = soğutma etkinlik katsayısi

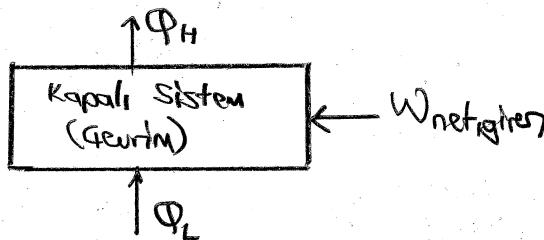
COP = soğutma makinası performans katsayısi

STK = soğutma testi katsayısi

} 3 şekilde gösterilebilir.
(Hepsi aynı kavramı ifade eder).

$$COP_{SM} = COP_R = \frac{\text{Elde edilmek istenen量}}{\text{Harcanması gereken量}} = \frac{Q_L}{W_{net,gires}}$$

Soğutma makinalarında enerji dengesi:



$$\begin{aligned} E_{gires} - E_{girkon} &= \Delta E_{sistem} \quad (\text{J}) \\ Q_L &\downarrow \\ W_{net,gires} &\quad \quad \quad Q_H \downarrow \\ &= 0 \text{ J} \quad (\text{Gürün ıgın}) \end{aligned}$$

$$Q_L + W_{net,gires} - Q_H = 0$$

$$W_{net,gires} = Q_H - Q_L$$

$$COP_R = \frac{Q_L}{W_{net,gires}} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{(Q_H/Q_L) - 1} \quad (\text{performans katsayısi})$$

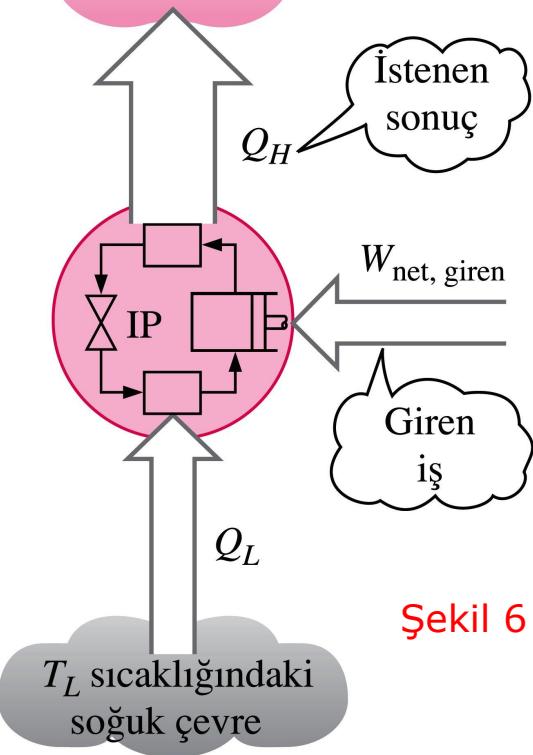
$$COP_R \geq 1 \text{ olabilir.}$$

İş Pompaları

Şekil 6 ile sematik olarak iş pompa, verilmüştür. Amaç, düşük sıcaklığındaki bir ortamdan yüksek sıcaklığındaki bir ortama ısı enerjisini aktarılmasıdır. Soğutma mühürları ve iş pompaları aynı yöntem ile çalışırlar. Sadece kullanım amaçları farklıdır.

İş pompa effektivlik katsayısı:

$T_H > T_L$ sıcaklığında ısıtılan ılık ortam



Şekil 6

T_L sıcaklığındaki soğuk çevre

$$COP_{IP} = \frac{Q_H}{W_{net,giren}} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{1 - (Q_L/Q_H)}$$

$$\frac{Q_L}{\underbrace{Q_H - Q_L}_{COP_R}} - \frac{Q_H}{\underbrace{Q_H - Q_L}_{COP_{IP}}} = \frac{Q_L - Q_H}{Q_H - Q_L} = -1$$

$$COP_R = COP_{IP} - 1 \Rightarrow COP_{IP} = COP_R + 1$$

$$COP_{IP} > 1 \quad (\text{Her zaman})$$

Bir iş pompa en kötü durumda
bir elektrikli ısıtıcı gibi görev yapar.

(Teorik olarak)

Enerji etkinlik oranı (energy efficiency ratio): EER

$$EER = (3,412) COP_{SM}$$

$$(3,412) COP_R$$

Clausius ifadesi:

Termodynamik bir çevrim gerçekleştirecek salışan ve düşük sıcaklığındaki bir ortamdan aldığı ısıyı yüksek sıcaklığındaki bir ortama aktarmak disinda hiçbir enerji etkileşimiinde bulunmayaç bir malzeme tasarlanamaz.

Sogutma makinası } $W_{net,given} = 0$ olamaz.
Isı pompası } > 0 olur.

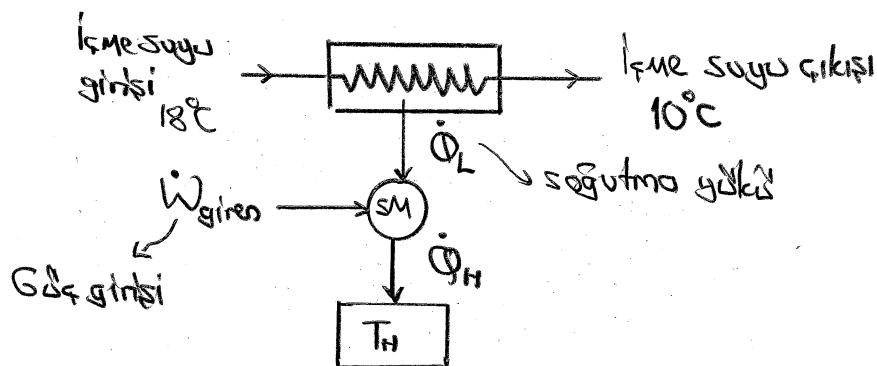
Termodynamığın ikinci yasasının Kelvin-Planck ve Clausius ifadeleri, gerçekleştirilemeyecek olan durumları ifade eder. Kanıtlanmaları olanaklıdır. Deneyler ile elde edilen gözlemlere dayanır. Bugüne kadar ikinci yasaşa aykırı bir deney yapılmamış ve bir düzenek geliştirilememiştir.

Bu İddi ifade GEVRİM olusturan sistemler için geçerlidir:
Isı makinalarının ısı verimleri %100 olamaz.

Sogutma makinaları ve ısı pompalarının performans katısayları sonsuz olamaz.

Örnek

Saatte 25 litre hacmindeki ıçme suyunun 18°C sıcaklığından 10°C sıcaklığına soğutulması gerekmektedir. Soğutucunun COP değeri 2,5 olarak verilmiştir. Soğutma güçlüğü (kW) olarak ve güç girişi (kW) olarak belirleyiniz.



COP_R eşitliği:

$$\text{COP}_{SM} = \text{COP}_R = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{gires}} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{gires}}$$

$$\text{COP}_R = 2,5, \quad \dot{Q}_L = ?, \quad \dot{W}_{gires} = ?$$

İş, değişkenlikte de enerji dengesi:

$$18^{\circ}\text{C} \rightarrow \begin{array}{|c|} \hline \text{wavy line} \\ \hline \end{array} \rightarrow 10^{\circ}\text{C}$$

$\downarrow \dot{Q}_L$

$$\dot{E}_{gires} - \dot{E}_{kötleg} = \Delta E_{sistem} (\dot{W})$$

$\downarrow \dot{E}_{kötleg}$ $\downarrow \dot{E}_{kötleg}$ $\downarrow = 0 \text{ W (sürrekli akış)}$

$$\dot{Q}_L$$

$$\dot{E}_{kötleg} - \dot{E}_{kötleg} = \dot{Q}_L (\dot{W})$$

$$\Delta p \leq \Delta h \leq 0 \text{ W}$$

$$\dot{m} h_1 - \dot{m} h_2 = \dot{Q}_L$$

$$\dot{m} = \dot{m}_1 = \dot{m}_2 \text{ (kg/s)}$$

$$\dot{m} (h_1 - h_2) = \dot{Q}_L$$

Kütleinin korunumu, birimlik
ve kütür siklusları takt.

$$18^{\circ}\text{C} \text{ ılığın } h_1 \approx h_{1,f} = 75,529 \text{ kJ/kg}$$

$$10^{\circ}\text{C} \text{ ılığın } h_2 \approx h_{2,f} = 42,022 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Hacim hesabı: } V = 25 \text{ litre} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litre}} = 0,025 \text{ m}^3$$

$$\text{Hacimsel debi: } \dot{V} = \frac{V}{\Delta t} = \frac{0,025 \text{ m}^3}{3600 \text{ s}} = 6,94 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

↓
(saatte 25 litre
olarak veriliyor)

$$\text{Kütlesel debi: } \dot{m} = \rho \dot{V} = (999,000916 \text{ kg/m}^3) (6,94 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}) \\ = 6,9375 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$\frac{18^\circ\text{C} + 10^\circ\text{C}}{2} = 14^\circ\text{C} \text{ için } \nu = \nu_f = 0,001001 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\rho = 1/\nu = 999,000916 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{Q}_L = (6,9375 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}) (75,529 - 42,022) \text{ kJ/kg} \\ = \underline{\underline{0,2325 \text{ kW}}}$$

$$\text{COP}_R = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{\text{giren}}} \longrightarrow 2,5 = \frac{0,2325 \text{ kW}}{\dot{W}_{\text{giren}}}$$

$$\dot{W}_{\text{giren}} = \underline{\underline{0,093 \text{ kW}}}$$

YARARLANILAN KAYNAKLAR:

“Thermodynamics: An Engineering Approach”, 9th Edition, Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Mehmet Kanoglu, McGraw-Hill Education, 2019.

“Termodinamiğin Temelleri”, SI Basım, Claus Borgnakke, Richard E. Sonntag, Sekizinci Baskıdan Çeviri, (Hüseyin Günerhan, çeviri editörü yardımcıları arasında yer almaktadır), Palme Yayıncılık, 2018, Ankara.

“Principles of Engineering Thermodynamics”, SI Edition, John R. Reisel, Cengage Learning, 2016.

“Termodinamik-Mühendislik Yaklaşımıyla”, Yedinci Baskıdan Çeviri, (Hüseyin Günerhan, editör yardımcıları arasında yer almaktadır), Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Palme Yayıncılık, 2015.

“Engineering Thermodynamics”, 8th Edition, Michael J. Moran, Howard N. Shapiro, John Wiley, 2014.

<https://www.huseyingunerhan.com/termo1/termo1.html> sayfasında verilen “Termodinamik I” dersine ait tüm ders notlarının bazı bölümleri yukarıda verilen kitaplardan ve/veya ilgili sunumlarından yararlanılarak veya ilham alınarak hazırlanmıştır.

“Termodinamik I” derslerine ait bilgi notları; Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Hüseyin GÜNERHAN tarafından çeşitli kaynaklardan da yararlanılarak ve emek ve zaman harcanarak hazırlanmış özgün bir eserdir. İzin alınmadan çoğaltıması ve kullanılması telif hakları gereği yasaktır.

(Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu, Kanun Numarası: 5846, Kabul Tarihi: 5/12/1951, Yayımlandığı Resmi Gazete: 13/12/1951 Sayı: 7981, Yayımlandığı Düstur: Tertip 3 Cilt 33 Sayfa 49).