

Termodinamik I

Ders 08 (Bölüm 2): Termodinamiğin İkinci Yasası

Kelvin-Planck İfadesi } Geçirir oluşturan sistemler için termo-
Clausius İfadesi } dinamiğin ikinci yasası

Isı makinelerinin enerji dönüşümü

verimleri %100 olamaz (Q_{giren} olduğu için)

$$\eta_{isıl} = 1 - \frac{Q_{giken}}{Q_{giren}} \quad 0 \leq \eta_{isıl} < 1 \text{ (\%100)}$$

Sogutma makinelerinin ve ısı pompalarının performans katsayıları sonsuz olamaz.

$$COP_{SM} = \frac{|Q_{giren}|}{|W_{net}|}$$

$W_{net} = 0$ olamaz.

$$COP_{IP} = \frac{|Q_{giken}|}{|W_{net}|}$$

$W_{net} = 0$ olamaz.

Tersinir ve Tersinmez Hal Değişimi

Bir ısı makinesinin sahip olabileceği (teorik) en yüksek verim ne olabilir?

$$\eta_{isıl,gerçek} = \%40 \text{ ise, } \eta_{isıl,max} = \%? \text{ olabilir.}$$

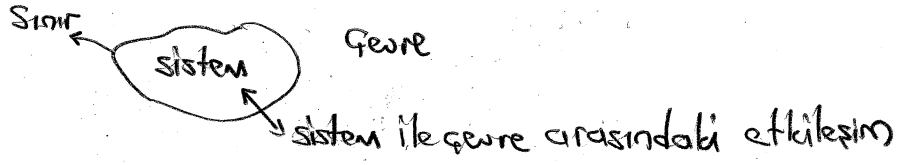
(%100 olamaz).

Bu durumda ideal (mükemmel-kusursuzluğa yaklaşan) hal değişimi göz önüne alınmalıdır.

(Tersinir hal değişimi)

Hal değişimleri belirli bir yönde gerçekleşir.

Tersinir (gerçek) hal değişimi:

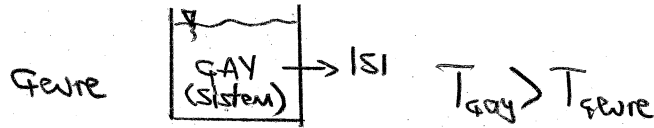


Sistem 1.halden $\rightarrow$ 2.hale gelsin.

Sistem ile çevre arasında bir etkileşim gerçekleşsin.

Çevre ile sistem arasındaki etkileşimlerin ters yönde gerçekleştirilmesi ve sistemin yeniden ilk haline dönmesi **OLANAKSIZDIR.**

Dönebilseydi; tersinir hal değişimi olurdu.



Çay soğuyor ve çevreye ısı kaybediyor.

Çevreye kaybedilen ısı geri kazanılarak çayın tekrar ısınması olanaksızdır. (KENDİLİĞİNDEN)

Olanaklı olsaydı $\rightarrow$ tersinir hal değişimi meydana gelirdi.

Tersinir hal değişimi $\rightarrow$ İdeal (teorik) hal değişimidir.
(Sanki-dengeli genişleme/sıkıştırma işi)

Tanım: Bir tersinir hal değişimi, bir yönde gerçekleştikten sonra, çevrede herhangi bir iz bırakmadan tersi yönde gerçekleştirilebilen bir hal değişimidir.

Tersinir olmayan gerçek hal değişimleri tersinmezdir.

Düğada tersinir hal değişimi **YOKTUR.**

Tersinir hal değişimleri incelenerek, gercek hal değişimlerinin karşılaştırılabileceği ideal modeller oluşturulur. Kusursuzluğa yaklaşım oranı belirlenir.

Otomobil motorlarında } řretilebilecek en yůksek iř miktarı
Tarihlerde

Fanlarda } tşketilebilecek en az iç miktarı
Pompalarda
Kompresörlerde

tersinir hal değişimi ile sağlanabilir.

Tersinmez hal değişimlerinin ulaşabileceği teorik sınır (gercekte ulaşamaz) tersinir hal değişimi ile belirlenir.

İkinci yasa verimi: gercek hal değişimlerinin, tersinir
(η_{II}) hal değişimlerine ne ölçőde
yaklaşıldığının ölçőü

Tersinmezlik neden olur?

Sırtışma

Dengesiz genişleme

İki akışkanın karışması

Sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi

Elektrik direnci

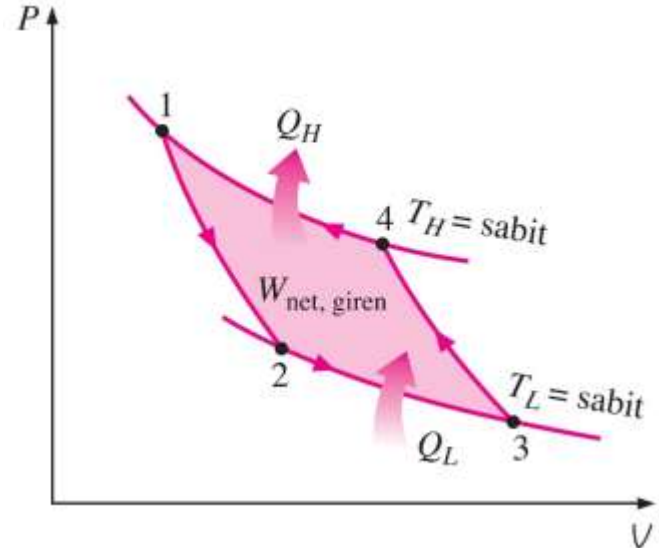
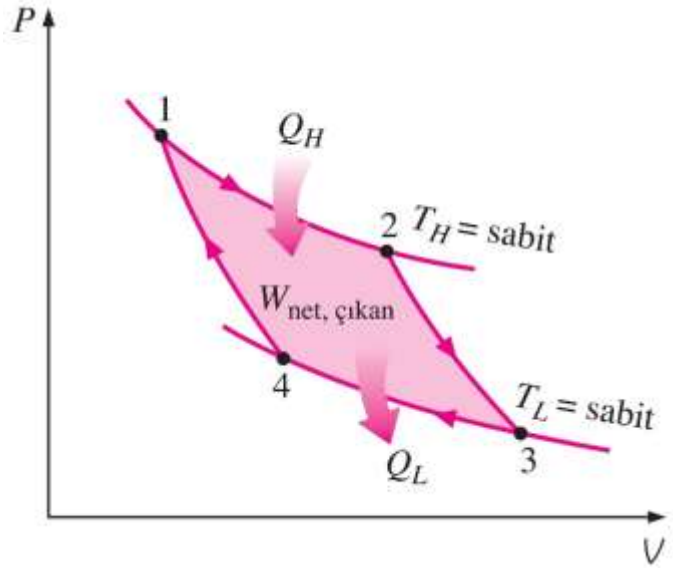
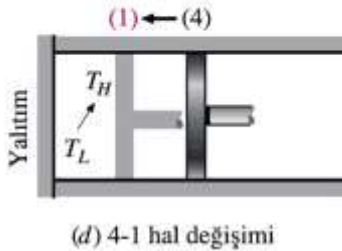
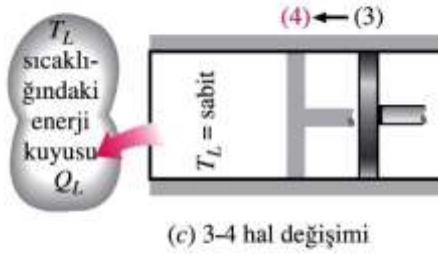
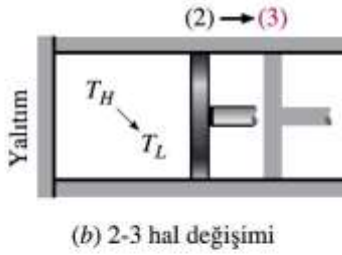
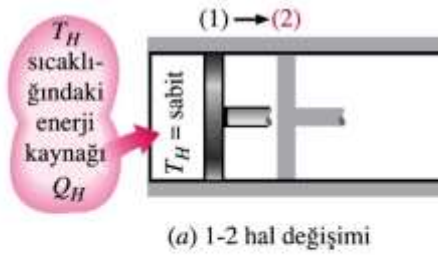
Katılarda plastik şekil değişimi

Kimyasal tepkimeler

Ayrıntı için: www.huseytingunerhan.com
Ders08-BilgiNotu.pdf

CARNOT ÇEVİRİMİ

En çok bilinen **tersinir çevrim**, 1824 yılında Fransız mühendis Sadi Carnot tarafından modellenen “Carnot” çevrimidir. Carnot çevrimine göre çalışan teorik ısı makinasına “Carnot ısı makinası” denir. Carnot çevrimi, ikisi sabit sıcaklıkta, ikisi de adyabatik olmak üzere dört hal değişiminden oluşur ve kapalı bir sistemde veya sürekli akışlı bir sistemde gerçekleştirilebilir. Adyabatik bir piston-silindir düzeneğinde bulunan bir gazın oluşturduğu kapalı bir sistem aşağıda verildiği gibi ele alınsın. Silindir tabanındaki yalıtım gerektiğinde kaldırılarak silindirle ısıl depo arasında ısı geçişine olanak sağlansın. Carnot çevrimini oluşturan dört tersinir hal değişimi aşağıda verildiği gibi gerçekleşir:



Carnot İlkeleri

Kelvin-Planck ifadesi } termodinamiğin ikinci yasasıdır ve
Clausius ifadesi } makinelerin çevrimlerine KISITLAMALAR getirir.

Isı makinesi $\rightarrow Q_{giren} (Q_L)$ olmadan olmaz.

Sığutma makinesi $\rightarrow W_{net, giren}$ olmadan olmaz.

Tersinir (ideal) }
Tersinmez (gerçek) } Isı makinelerinin ısı verimleri ile ilgili olan Carnot ilkeleri:

AYNI ısı depolar arasında çalışan iki ısı makinasından, tersinir olanın verimi her zaman tersinmez olanın veriminden BÜYÜKTÜR.

$$\eta_{\text{ısı, tr}} > \eta_{\text{ısı, gerçek}}$$

AYNI ısı depolar arasında çalışan bütün tersinir ısı makinelerinin verimleri EŞİTTİR.

ISI KAYNAĞI
 T_H

ISI KUYUĞU
 T_L

T_H ile T_L arasında çalışan tüm tersinir ısı makinelerinin verimleri eşittir.

Termodinamik sıcaklık ölçeği: Sıcaklığı ölçmek için kullanılan maddelerin özelliklerinden bağımsız olan sıcaklık ölçeğine denir. Lord Kelvin; aşağıdaki gibi bir termodinamik sıcaklık ölçeği tanımlamıştır:

Tersinir makineler için:
(Çevrim giren)

$$\left(\frac{Q_H}{Q_L} \right)_{tr} = \frac{T_H (K)}{T_L (K)}$$

$$\left(\frac{Q_H}{Q_L}\right)_{tr} = \frac{T_H}{T_L} \rightarrow \text{entropi bölümünde ayrıntılı olarak açıklanacaktır}$$

Carnot Isı Makinası:

Tersinir olarak çalışan ısı makinası

$$\text{Tersinir + Tersinmez: } \eta_{isil} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

$$\text{Tersinir: } \eta_{isil, tr} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad (\text{Carnot verimi})$$

$$\eta_{isil} \begin{cases} < \eta_{isil, tr} & \text{tersinmez ısı makinası} \\ = \eta_{isil, tr} & \text{tersinir ısı makinası} \\ > \eta_{isil, tr} & \text{OLMAZ} \end{cases}$$

$T_L \rightarrow$ SABİT olsun. $T_H \rightarrow$ değerini arttıralım.

$$\eta_{isil, tr} = 1 - \frac{T_L \text{ (sabit)}}{T_H} \rightarrow \eta_{isil, tr} \uparrow$$

$$1 - \frac{400K}{650K} = 0,38$$

$$1 - \frac{400K}{900K} = 0,55$$

Isı enerjinin sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, niteliği de o kadar yüksek olur. Isı enerjinin daha büyük bölümü işe dönüştürülebilir.

Carnot Soğutma Makinası } Ters Carnot çevrimine göre çalışan
Carnot Isı Pompası } çevrimler.

$$COP_{SM} = \frac{1}{\Phi_H/\Phi_L - 1} \rightarrow \text{Tersinir + tersinmez soğutma makinası etkinlik katsayısı}$$

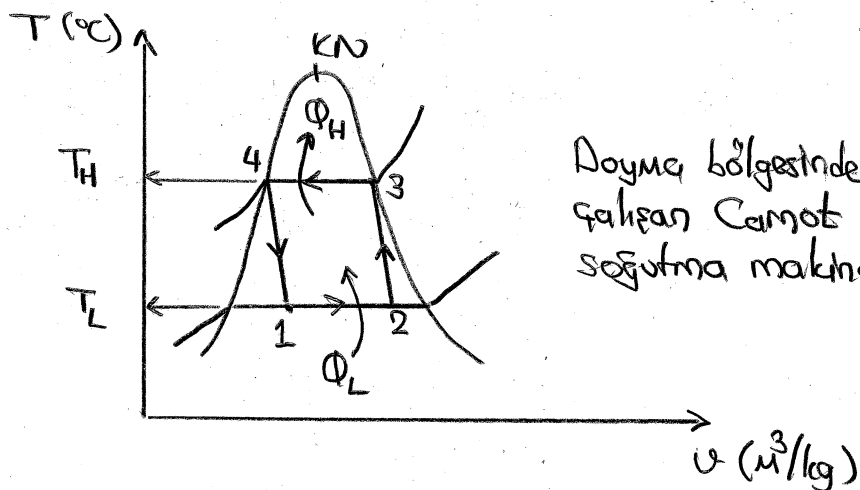
$$COP_{SM,tr} = \frac{1}{T_H/T_L - 1} \rightarrow \text{Tersinir soğutma makinası için Carnot etkinlik katsayısı}$$

$$COP_{IP} = \frac{1}{1 - \Phi_L/\Phi_H} \rightarrow \text{Tersinir + tersinmez ısı pompası etkinlik katsayısı}$$

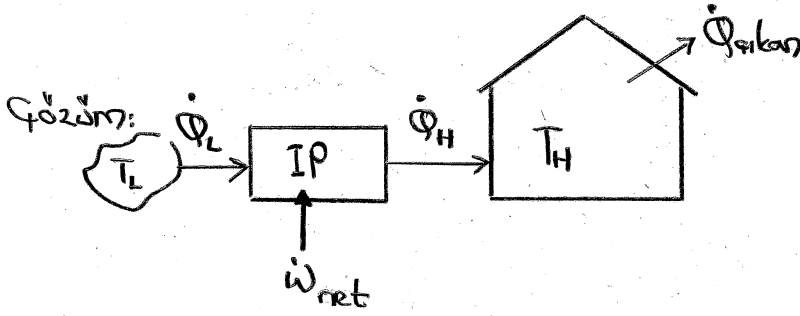
$$COP_{IP,tr} = \frac{1}{1 - T_L/T_H} \rightarrow \text{Tersinir ısı pompası için Carnot etkinlik katsayısı}$$

$$COP_{SM} \begin{cases} < COP_{SM,tr} & \text{tersinmez soğutma makinası} \\ = COP_{SM,tr} & \text{tersinir soğutma makinası} \\ > COP_{SM,tr} & \text{OLMAZ} \end{cases}$$

COP_{IP} için de benzer durum yazılabilir.



ÖRNEK: Bir ısı pompası kışın bir evi ısıtmakta ve yazın ise soğutma makinası olarak çalıştırılıp aynı evi soğutmak için kullanılmaktadır. Evin iç sıcaklığı kışın 20°C olarak ve yazın 25°C olarak alınacaktır. Duvarlar ve tavandan dış ortama geçen ısı transferi, saatte 2400 kJ “derece-sıcaklık farkı” olarak gerçekleşmektedir. (a) Kış aylarında referans dış sıcaklık 0°C ise, ısı pompasını çalıştırmak için gereken minimum güç ne olabilir? [kW] olarak hesaplayınız. (b) (a) şıkkı ile aynı güç değeri için evin 25°C sıcaklıkta tutulabileceği maksimum dış sıcaklık ne olmalıdır? [$^{\circ}\text{C}$] olarak hesaplayınız.



$$T_H = 20^{\circ}\text{C} \text{ (kışın)} \\ = 293,15 \text{ K}$$

$$T_L = 0^{\circ}\text{C} \\ = 273,15 \text{ K}$$

$$\dot{Q}_{\text{cıkan}} = 2400 \frac{\text{kJ}}{\text{h}^{\circ}\text{C}} \cdot (20 - 0)^{\circ}\text{C} = 48000 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

saatte kJ olarak derece-sıcaklık Göç birimi
 derece-sıcaklık farkı farkı ($^{\circ}\text{C}$)
 için birim
 ($\text{kJ}/\text{h}^{\circ}\text{C}$)

$$\text{COP}_{\text{IP}} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}_{\text{net}}} \longrightarrow \dot{Q}_H = \dot{Q}_{\text{cıkan}} \text{ olmalıdır. Evin kaybettiği}$$

ısı akımı kadar ısı pompası eve ısı akımı vermelidir ki iç sıcaklık 20°C olarak kalabilsin.

$$\text{COP}_{\text{IP}} = \frac{48000 \text{ kJ/h}}{\dot{W}_{\text{net}}} \longrightarrow \text{Minimum güç demek, Carnot ısı pompası veya tersinir ısı pompası demektir.}$$

$$\text{Tersinir ısı pompası} \longrightarrow \text{COP}_{\text{IP}} = \text{COP}_{\text{IP, tr}}$$

$$\text{COP}_{\text{IP, tr}} = \frac{T_H}{T_H - T_L} = \frac{293,15 \text{ K}}{(293,15 - 273,15) \text{ K}} = 14,6575$$

$$14,6575 = \frac{48000 \text{ kJ/h}}{\dot{W}_{\text{net,min}}} \longrightarrow \dot{W}_{\text{net,min}} = 3274,774 \text{ kJ/h} \\ = \underline{\underline{0,91 \text{ kW}}}$$

$$Yazın \longrightarrow T_L = T_{\text{ev}} = 25^\circ\text{C} \\ = 298,15 \text{ K}$$

$$T_H = T_{\text{soyut}} = ? \text{ (Max. dış sıcaklık)}$$

$$\dot{W}_{\text{giren}} = 3274,774 \text{ kJ/h} = \dot{W}_{\text{net,min}}$$

$$\dot{\Phi}_{\text{giren}} = \dot{\Phi}_L = 2400 \text{ kJ/h}^\circ\text{C} (T_H - 298,15) \text{ K}$$

$$\text{COP}_{\text{SM}} = \frac{\dot{\Phi}_L}{\dot{W}_{\text{giren}}} = \frac{(2400 \text{ kJ/h}^\circ\text{C})(T_H - 298,15) \text{ K}}{3274,774 \text{ kJ/h}}$$

Carnot soğutma makinesi:
Tersinir soğutma makinesi:

$$T_H \rightarrow \text{max}, \dot{\Phi}_L \rightarrow \text{max}$$

$$\text{COP}_{\text{SM, tr}} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{298,15 \text{ K}}{T_H - 298,15 \text{ K}}$$

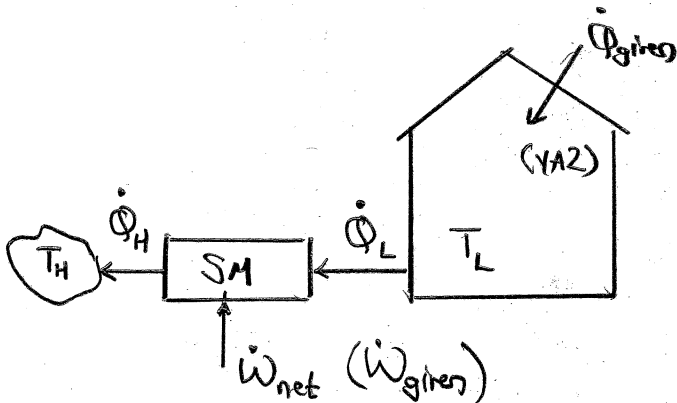
$$\text{COP}_{\text{SM}} = \text{COP}_{\text{SM, tr}} \Rightarrow 0,7329 (T_H - 298,15) = \frac{298,15}{T_H - 298,15}$$

$$(T_H - 298,15)^2 = 406,82$$

$$T_H - 298,15 = 20,17$$

$$T_H = 318,32 \text{ K}$$

$$= \underline{\underline{45,17^\circ\text{C}}}$$



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 çoğaltılması 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).