

Bölüm 6

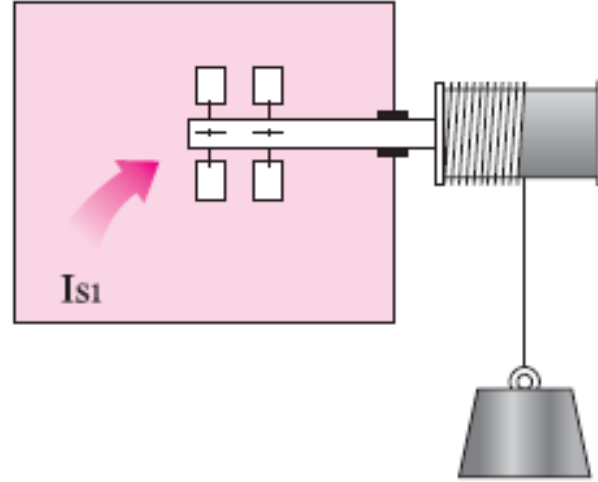
TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ YASASI

Amaçlar

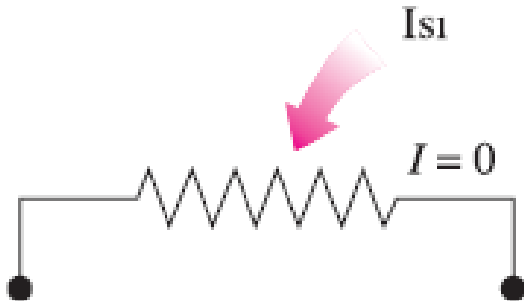
- Termodinamiğin ikinci yasasına giriş yapmak..
- Termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarını birlikte sağlayan geçerli hal değişimlerini belirlemek.
- Isıl enerji depoları, tersinir ve tersinmez hal değişimleri, ısı makineleri, soğutma makineleri ve ısı pompaları kavramlarını tanımak.
- Termodinamiğin 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 verim 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.



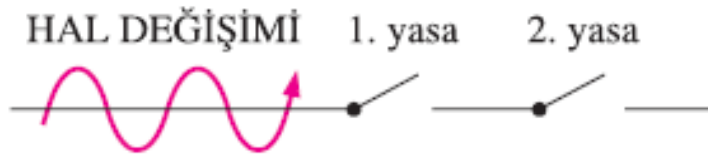
Tele ısı geçişi elektrik üretimine yol açmaz.

Bu işlemler birinci kanuna uymalarına rağmen, gerçekleşemezler.



Hal değişimleri belirli bir yönde gerçekleşir. Ters yönde gerçekleşmez.

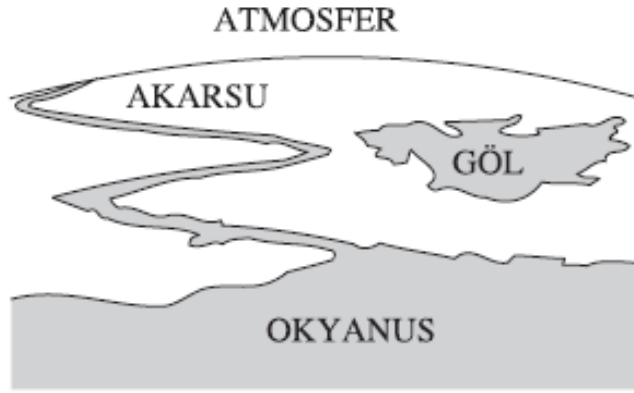
Bir hal değişiminin gerçekleşebilmesi için termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarının sağlanması zorunludur.



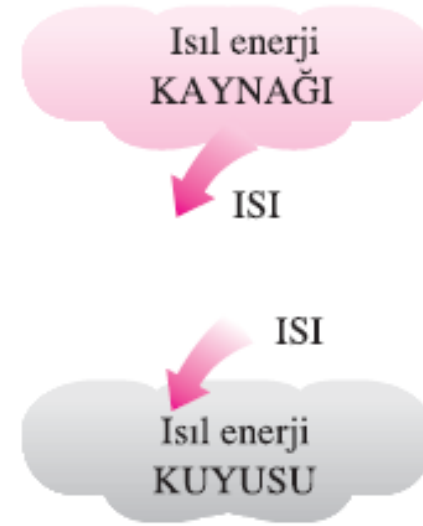
İKİNCİ YASANIN ESAS KULLANIMI

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



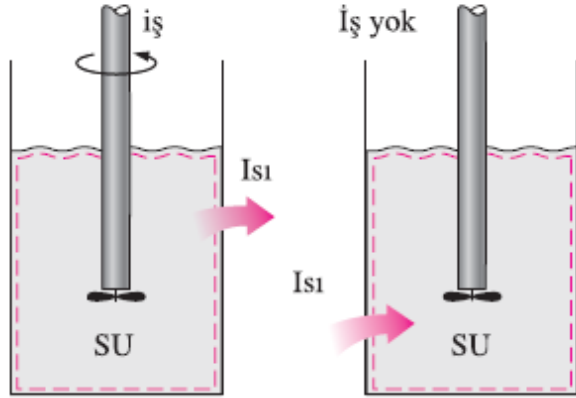
Isıl enerji sığaları büyük kütleler, ısı enerji deposu olarak tanımlanabilir.



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 ($kütle \times özgül ısı$) 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



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

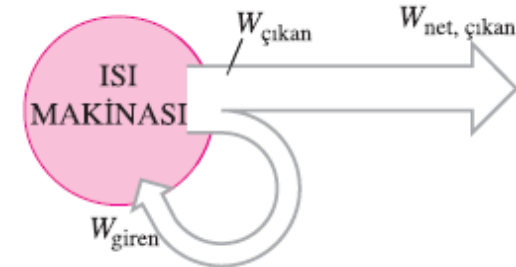
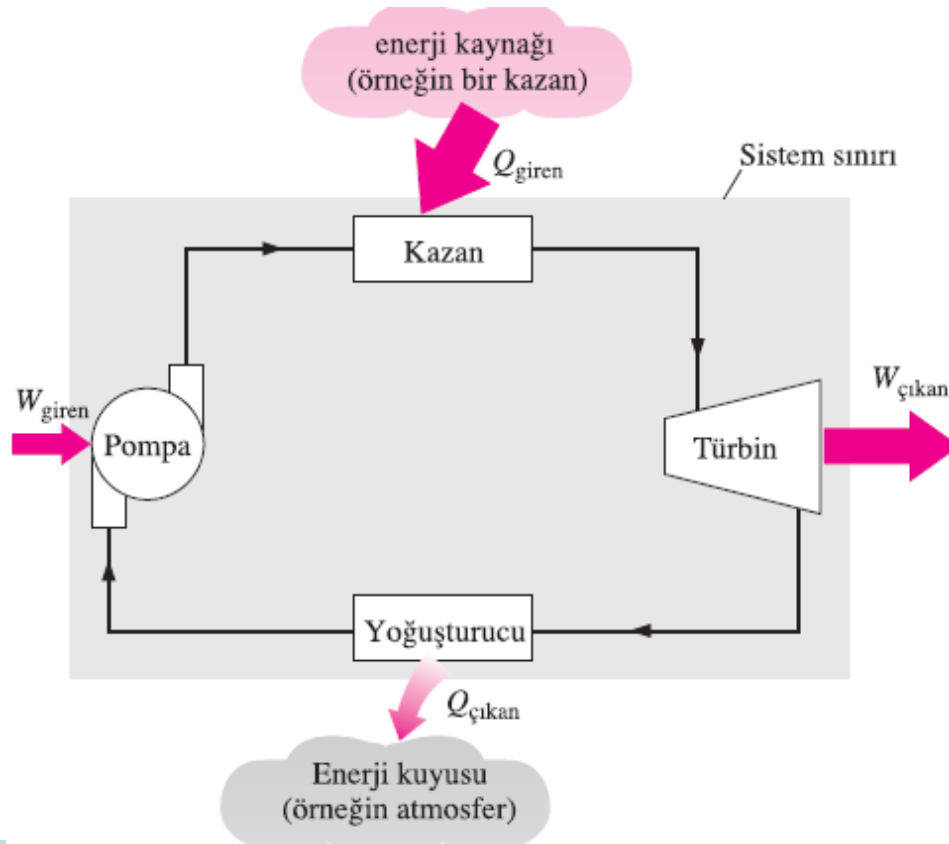
Isı makinesi aldığı ısıнын bir bölümünü işe dönüştürür, geri kalanını düşük sıcaklıktaki bir ısı kuyuya verir.

Makineler ısıyı işe dönüştürürler.

1. Yüksek sıcaklıktaki bir kaynaktan (güneş enerjisi, kazanlar, nükleer reaktörler vb.) ısı alırlar .
2. Geri kalan atık ısıyı düşük sıcaklıktaki bir kuyuya (atmosfer, akarsular, vb.) verirler.
3. Bir çevrim gerçekleştirerek çalışırlar.

Isı makineleri ve bir çevrime göre çalışan diğer makineler, çevrimi gerçekleştiren 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.

$$W_{net, çıkan} = W_{çıkan} - W_{giren} \quad (kJ)$$

$$W_{net, çıkan} = Q_{giren} - Q_{çıkan} \quad (kJ)$$

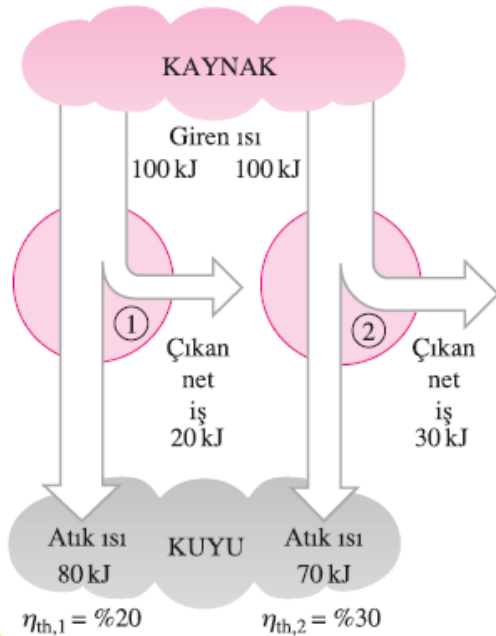
Q_{giren} = Yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağından (kazandan) suya geçen ısı miktarı.

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

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

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

Isıl verim



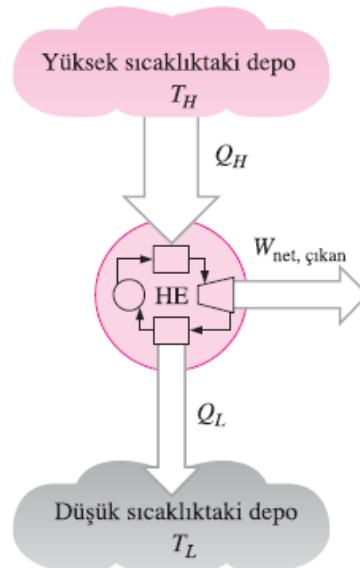
Bazı ısı makinelerinin verimi daha yüksektir (aldıkları ısıнын daha büyük kısmını işe dönüştürürler).

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

$$W_{\text{net,çıkan}} = Q_{\text{giren}} - Q_{\text{çıkan}}$$

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

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

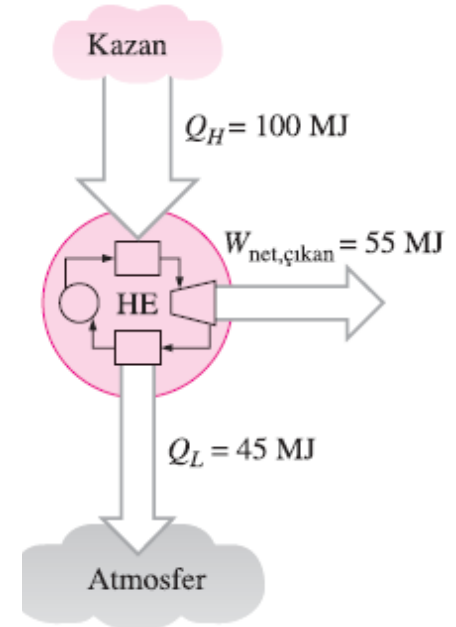


Isı
makinesinin
genel çizimi

$$W_{\text{net,çıkan}} = Q_H - Q_L$$

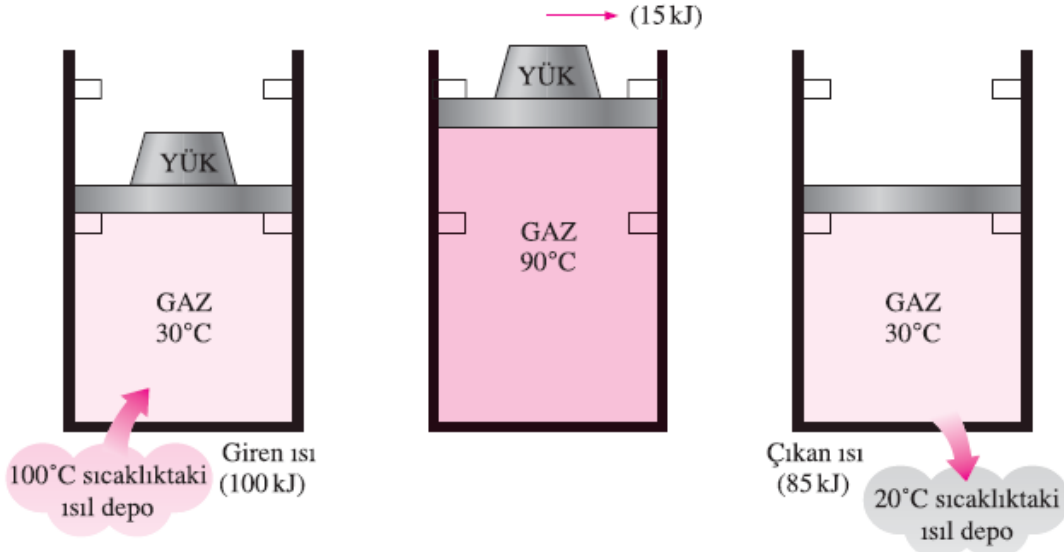
$$\eta_{th} = \frac{W_{\text{net,çıkan}}}{Q_H}$$

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



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

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 yoğusturucusunda, büyük miktarlarda atık ısı akarsulara, göllere veya atmosfere atılmaktadır.

Bu durumda yoğusturucu santralden çıkarılıp söz konusu atık ısıdan tasarruf edilemez mi?

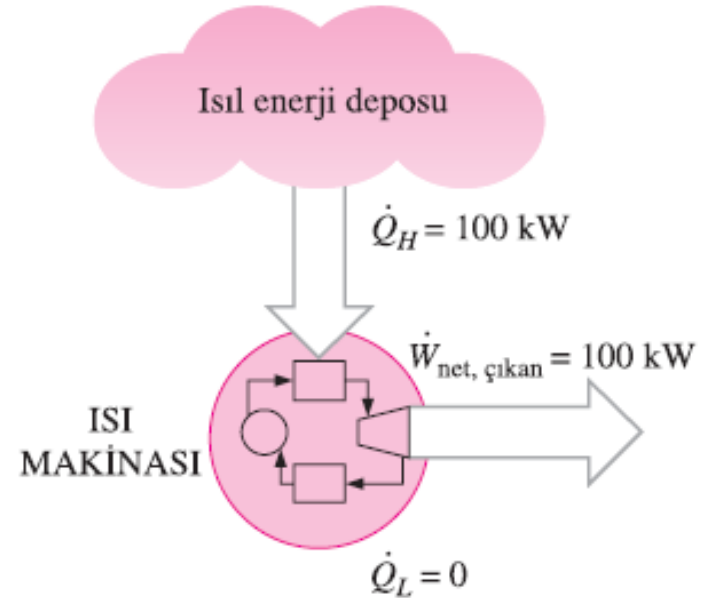
Bu sorunun yanıtı, ne yazık ki kesin bir hayırdır. Çünkü, yoğusturucuda ısı atılma işlemi gerçekleşmeden çevrim tamamlanamaz.

Termodinamiğin İkinci Yasası: Kelvin-Planck İfadesi

Termodinamik bir çevrim gerçekleştirerek çalışan bir makinenin, yalnızca bir kaynaktan ısı alıp net iş üretmesi olanaksızdır.

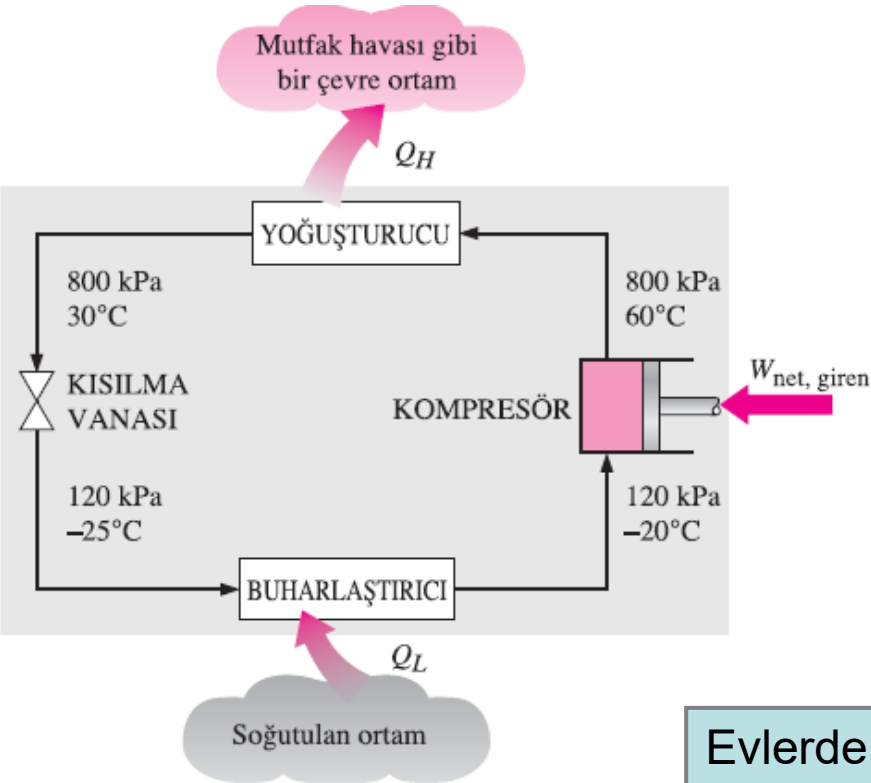
Hiçbir ısı makinesinin ısı verimi yüzde 100 olamaz veya bir güç santralinin sürekli çalışabilmesi için iş akışkanının hem kazanla, hem de çevreyle ısı alışverişinde bulunması gerekir.

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

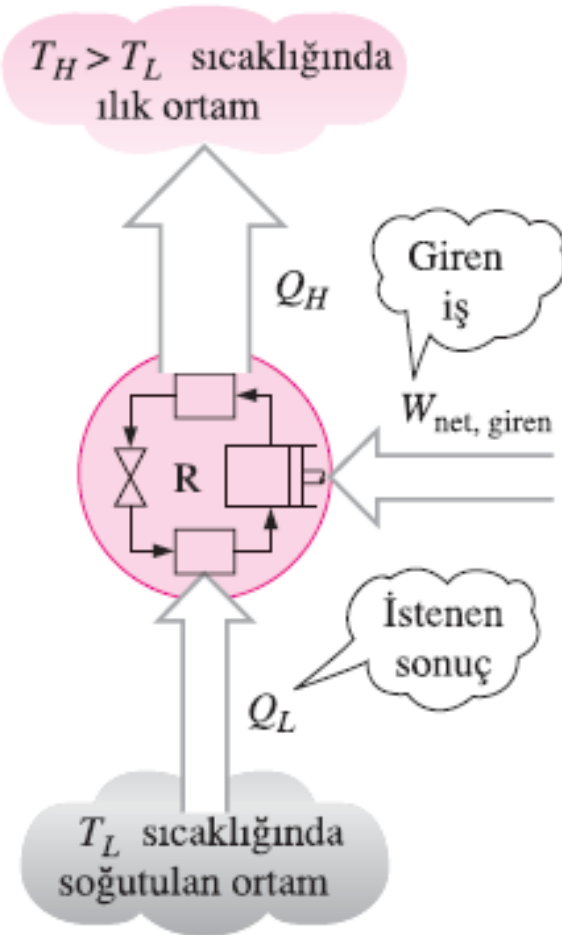


- Düşük sıcaklıklı bir ortamdan yüksek sıcaklıklı bir ortama ısı geçişi kendiliğinden oluşmaz ve **soğutma makineleri** adı verilen özel makinelerin kullanımını gerektirir.
- Isı makineleri gibi soğutma makineleri de bir çevrim gerçekleştirerek çalışan makinelerdir.
- Soğutma çevriminde kullanılan iş 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.

Etkinlik Katsayısı



Bir soğutma makinesinin verimi, **etkinlik katsayısı** ile ifade edilir ve **COP_{SM}** ile gösterilir. Soğutma makinesinin amacı, soğutulan ortamdan ısı (Q_L) çekmektir.

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

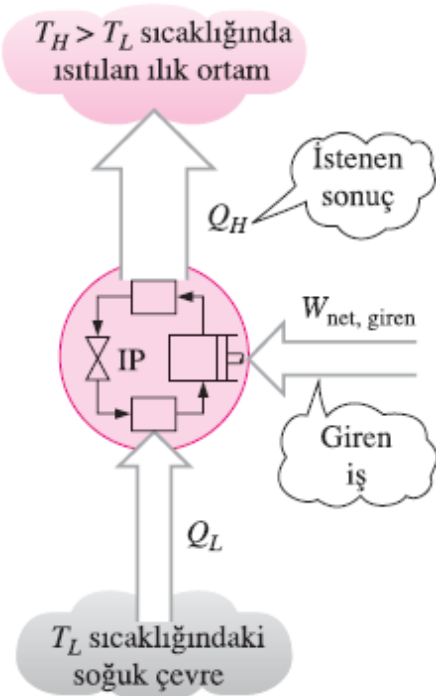
$$W_{\text{net, giren}} = Q_H - Q_L \quad (\text{kJ})$$

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

Bir soğutma makinesinin amacı, soğutulan ortamdan Q_L ısısını çekmektir.

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

Isı Pompaları



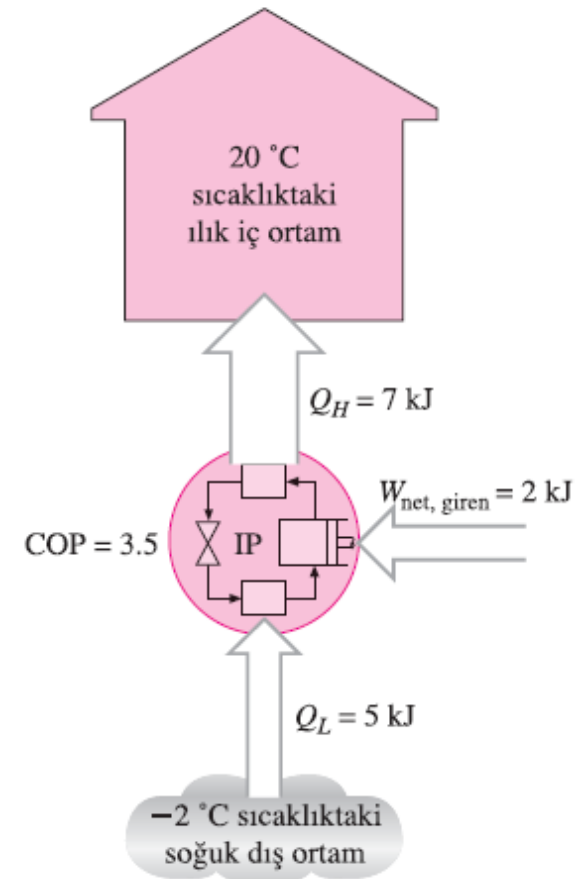
Bir ısı pompasının amacı, ılık ortama Q_H ısını vermektedir.

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

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

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

$$\text{COP}_{\text{IP}} = \text{COP}_{\text{SM}} + 1 \quad Q_L \text{ ve } Q_H \text{ 'ın sabit değerleri için}$$



COP_{IP} 'in değeri birden daha küçük olabilir mi? $\text{COP}_{\text{IP}}=1$ neyi gösterir?



- Günümüzde kullanılan ısı pompalarının mevsimlik ortalama COP değerleri 2 ile 3 arasında değişir.
- Mevcut ısı pompalarının çoğu kışın soğuk dış havayı ısı kaynağı olarak kullanırlar (hava-kaynaklı ısı pompaları).
- Sıcaklık donma noktasının altına düştüğünde verimleri önemli ölçüde azalır.
- Böyle durumlarda ısı kaynağı olarak toprağı kullanan, jeotermal (veya toprak-kaynaklı) ısı pompaları kullanılabilir.
- Kurulumları daha masraflı olmasına karşın, bu tür ısı pompalarının verimleri daha yüksektir.
- İklimlendirme cihazları -klimalar esas olarak buzdolabından farklı değildir. Soğuttukları ortam yiyecek bölümü yerine bir binanın bir odasıdır.
- COP değeri, soğutma sıcaklığının düşüşüyle azalmaktadır.
- Bu nedenle gerek duyulan sıcaklıktan daha düşük sıcaklıklara soğutma işlemi ekonomik değildir.

Ters yönde yerleştirildiğinde, bir iklimlendirme cihazı, ısı pompası gibi çalışır.

Enerji Etkinlik Oranı (EER): Tüketilen 1 Wh (watt-saat) elektrik enerjisi için, soğutulan ortamdan çekilen ısıнын Btu cinsinden değeri olarak tanımlanır.

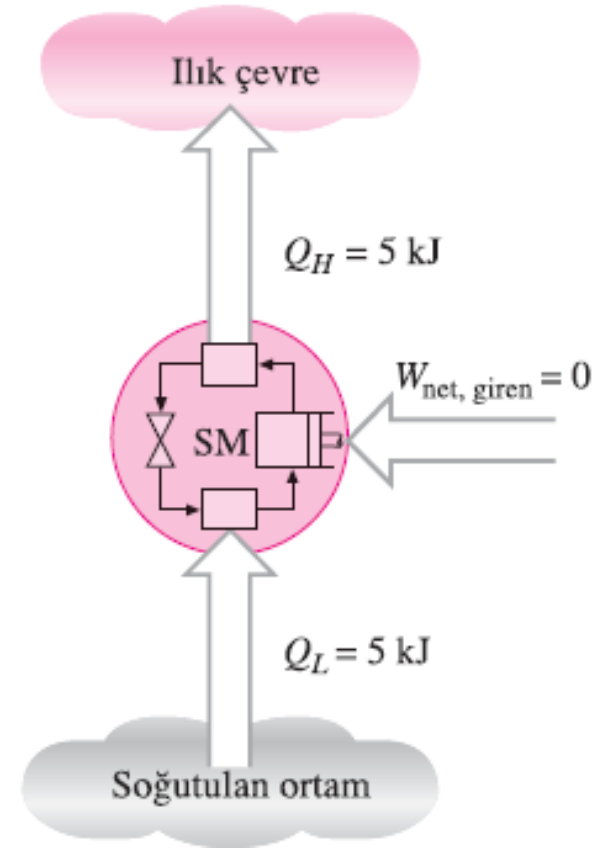
Termodinamiğin İkinci Yasası: Clausius İfadesi

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.

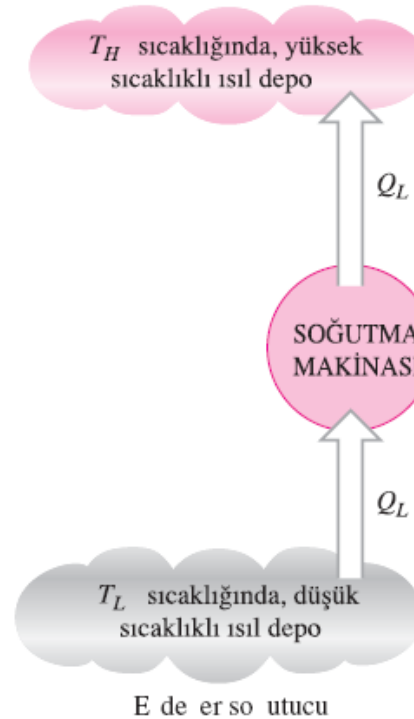
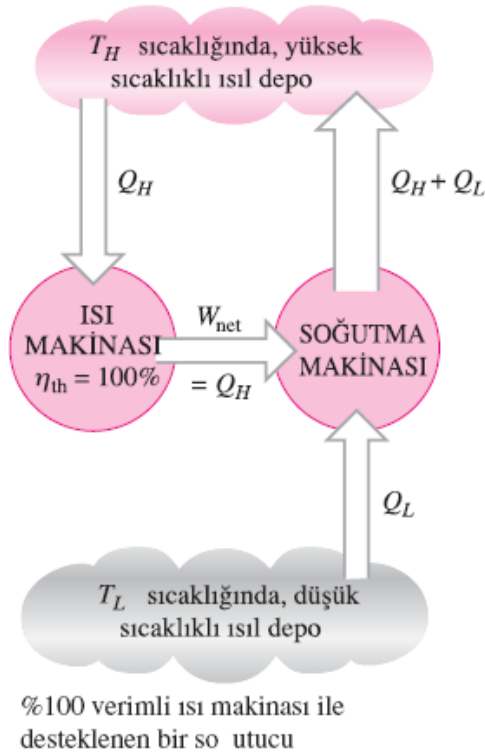
Böylece çevrimin çevre üzerindeki net etkisi, ısının daha soğuk bir cisimden daha sıcak olana aktarılması yanında, iş biçiminde bir miktar enerji tüketmesidir.

Bugüne kadar ikinci yasaya aykırı bir deney yapılamamıştır. Bu da ikinci yasanın geçerliliğinin yeterli bir kanıtıdır.



İkinci yasanın Clausius ifadesine aykırı bir soğutma makinesi.

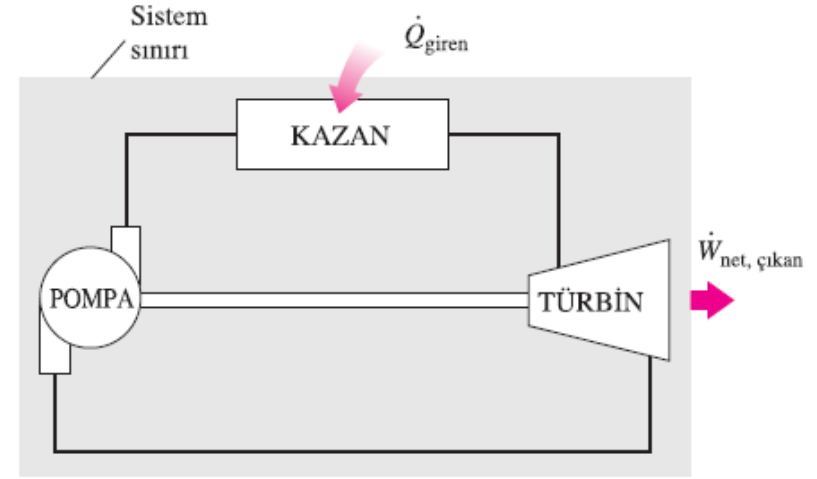
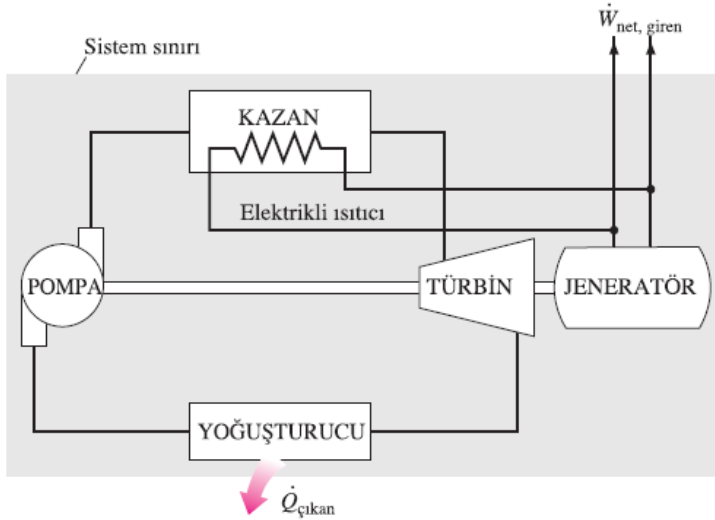
İki İfadenin Eş anlamlılığı



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.

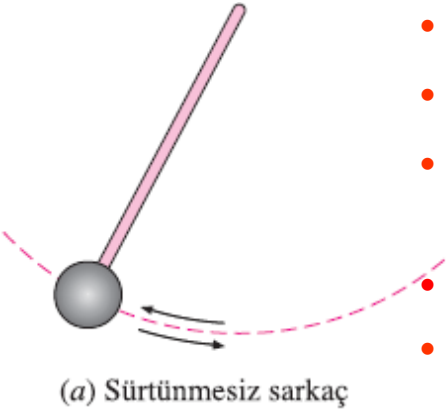
Devridaim makinesi yapmaya yönelik sayısız girişim olmasına karşın, bunlardan hiçbiri başarılı olamamıştır.

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.

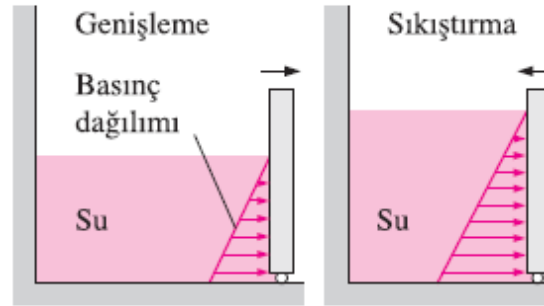
Tersinmez hal değişimi: Tersinir olmayan hal değişimlerine denir.



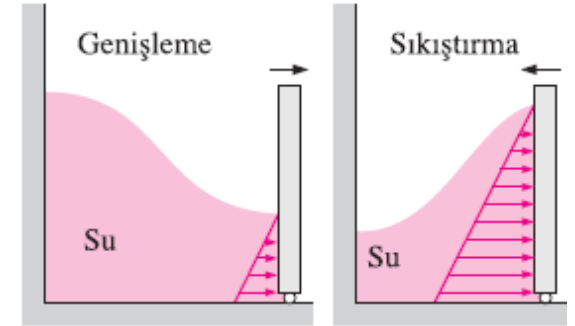
- Doğada tersinir hal değişimlerine rastlanmaz.
- *Neden tersinir hal değişimleriyle uğraşırız ?*
- **(1) İncelemek kolaydır ve (2) Gerçek hal değişimlerinin karşılaştırılabileceği ideal modeller (kuramsal limitler) oluştururlar.**
- Bazı hal değişimleri diğerlerine göre daha çok tersinmezdir.
- Tersinir hal değişimlerini tahmin etmeye çalışırız. **Niçin?**



(b) Bir gazın sanki-dengeli genişlemesi ve sıkıştırılması



(a) Yavaş (tersinir) hal değişimi



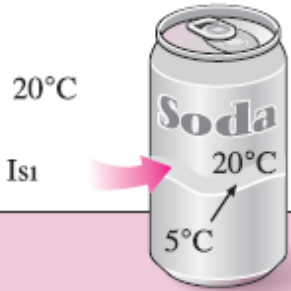
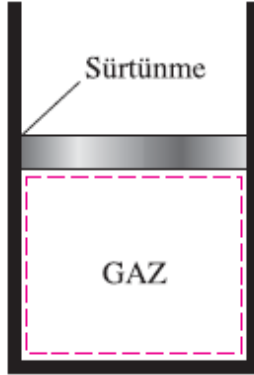
(b) Hızlı (tersinmez) hal değişimi

Bilinen iki tersinir hal değişimi.

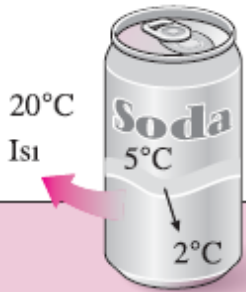
En çok iş, tersinir hal değişimleri sırasında yapılır. En az iş, tersinir hal değişimleri sırasında gerekir.

Tersinmezlikler

Sürtünme, bir hal değişimini tersinmez yapar.



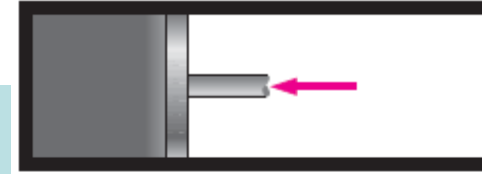
(a) Tersinmez ısı geçişi



(b) Gerçekleşmesi olanaksız ısı geçişi

(a) Sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi tersinmezdir
(b) soğuk ortamdan sıcak ortama kendiliğinden ısı geçişi olanaksızdır.

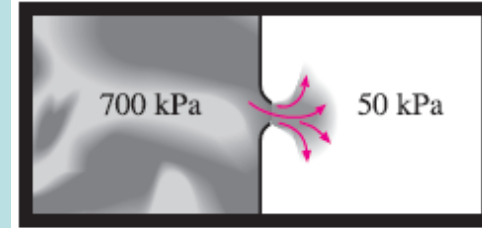
- Bir hal değişiminin tersinmez olmasına neden olan etkenlere **tersinmezlikler** adı verilir.
- Sürtünme, dengesiz genişleme, iki sıvının karışması, sonlu bir sıcaklık farkında ısı geçişi, elektrik direnci, katıların elastik olmayan şekil değişimleri ve kimyasal tepkimeler bu etkenler arasındadır.
- Bu etkenlerden herhangi birinin varlığı, hal değişimini tersinmez yapar.



(a) Hızlı sıkıştırma



(b) Hızlı genişleme

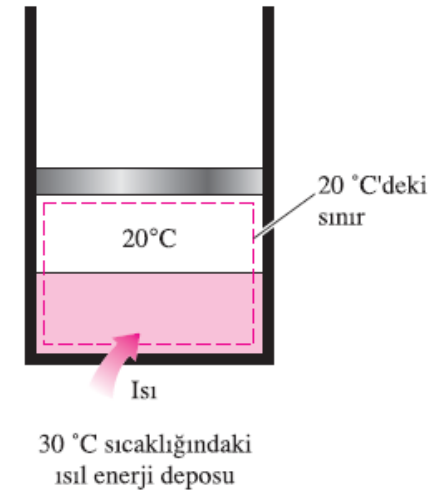
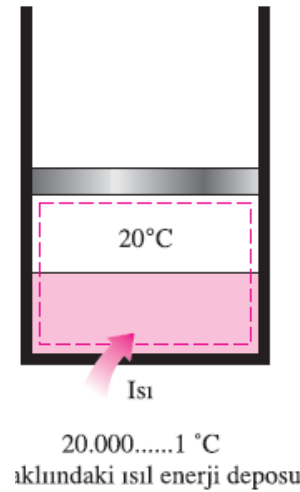
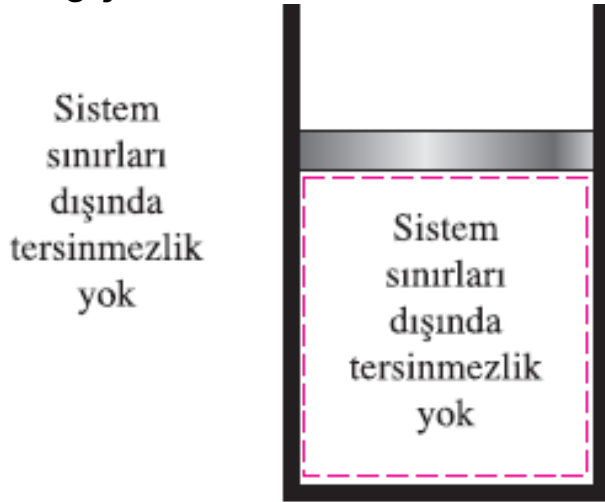


(c) Kontrolsüz genişleme

Tersinmez sıkıştırma ve genişleme işlemleri.

İçten ve Dıştan Tersinir Hal Değişimleri

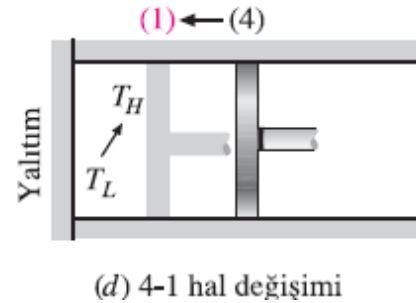
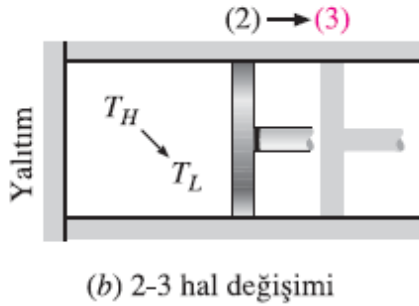
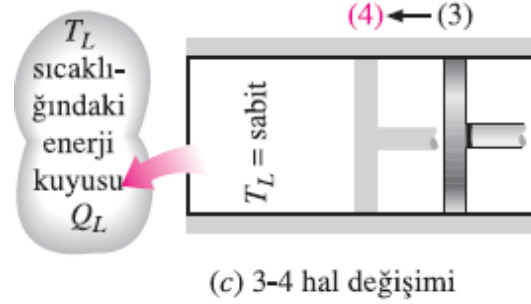
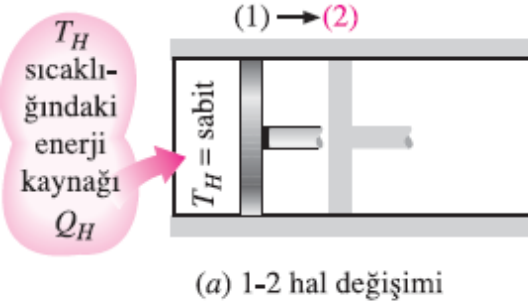
- **İçten tersinir hal değişimi** : Hal değişimi sırasında sistemin sınırları içinde tersinmezlikler meydana gelmiyorsa.
- **Dıştan tersinir hal değişimi** : Sistemin sınırları dışında tersinmezlikler meydana gelmiyorsa
- **Tümden tersinir hal değişimi** : Sistemin sınırları içinde ve ilişkide olduğu 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



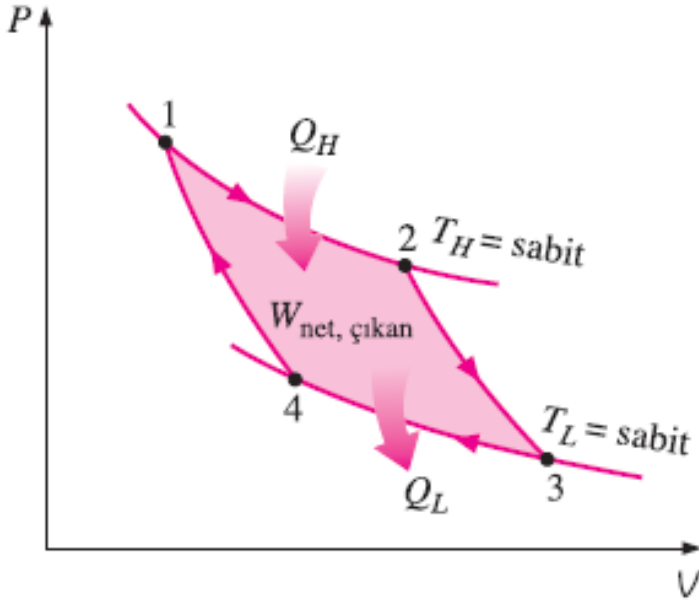
Carnot çevriminin kapalı bir sistemde gerçekleştirilişi.

Tersinir sabit sıcaklıkta genişleme (1-2 hal değişimi, $T_H = \text{sabit}$)

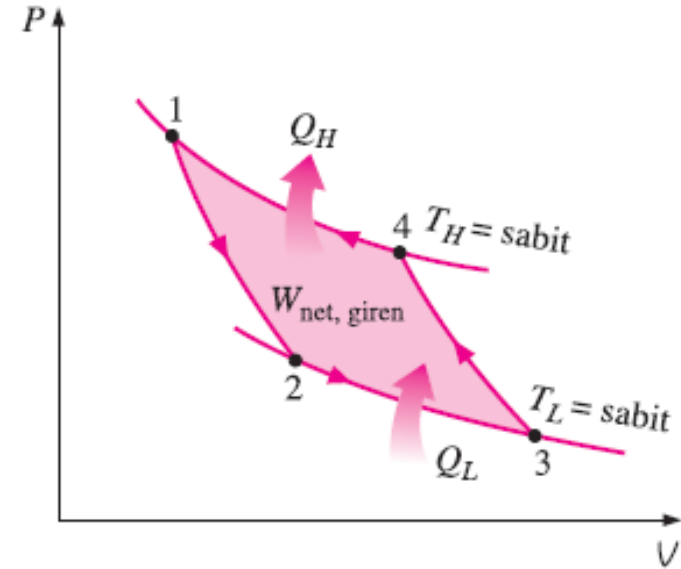
Tersinir adyabatik genişleme (2-3 hal değişimi, sıcaklık T_H 'den T_L 'ye düşmektedir)

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.

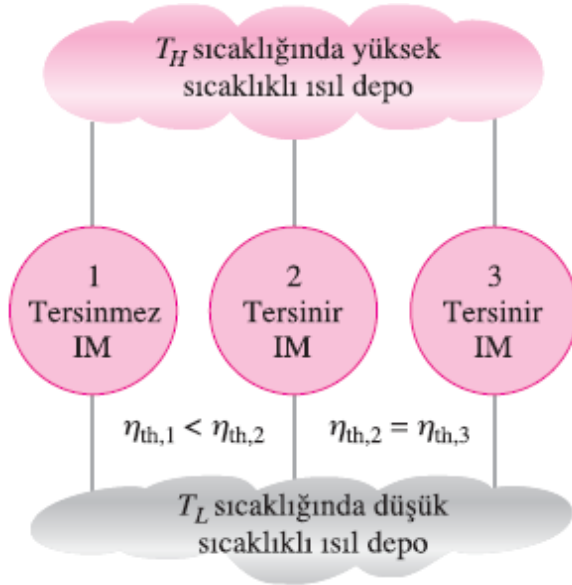


Ters Carnot çevriminin P - V diyagramı.

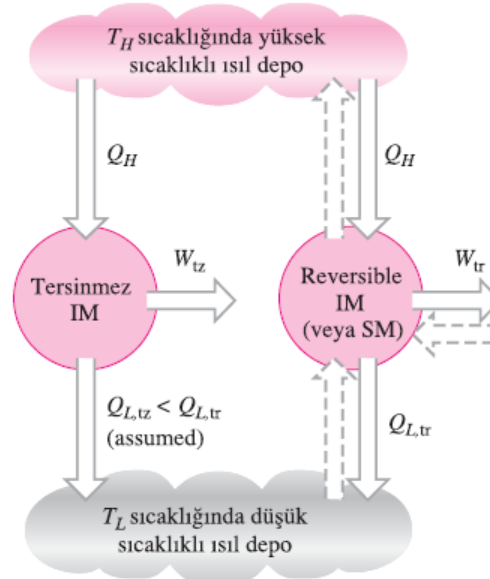
Ters Carnot Çevrimi

Carnot ısı makinesi çevrimi tümten 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 ısıl depolar arasında çalışan tersinir ve tersinmez ısı makineleri (tersinir ısı makinesi daha sonra soğutma makinesi olarak çalıştırılmaktadır).

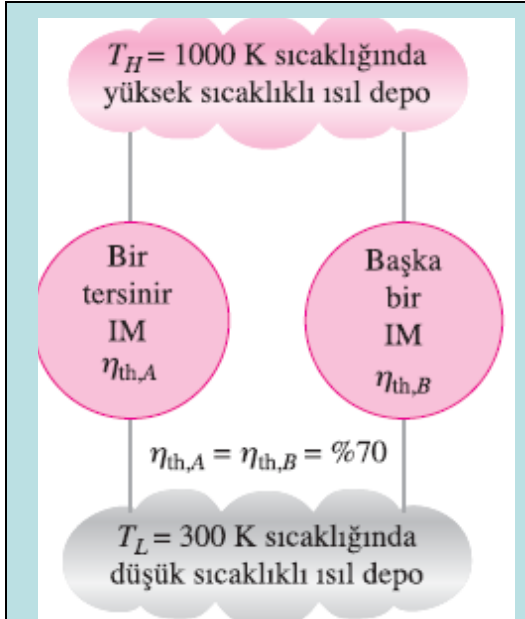


(b) Eşdeğer birleşik sistem.

Birinci Carnot ilkesinin kanıtlanması.

1. Aynı iki ısıl depo arasında çalışan iki ısı makinesinden, tersinmez olanın verimi her zaman tersinir olanın veriminden küçüktür.
2. Aynı iki ısıl depo arasında çalışan bütün tersinir ısı makinelerinin verimleri eşittir.

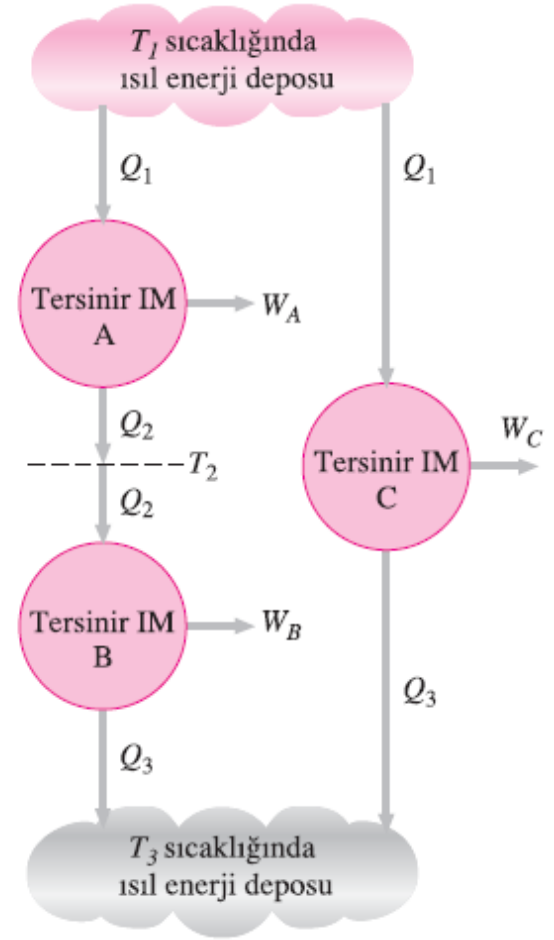
TERMODİNAMİK SICAKLIK ÖLÇEĞİ

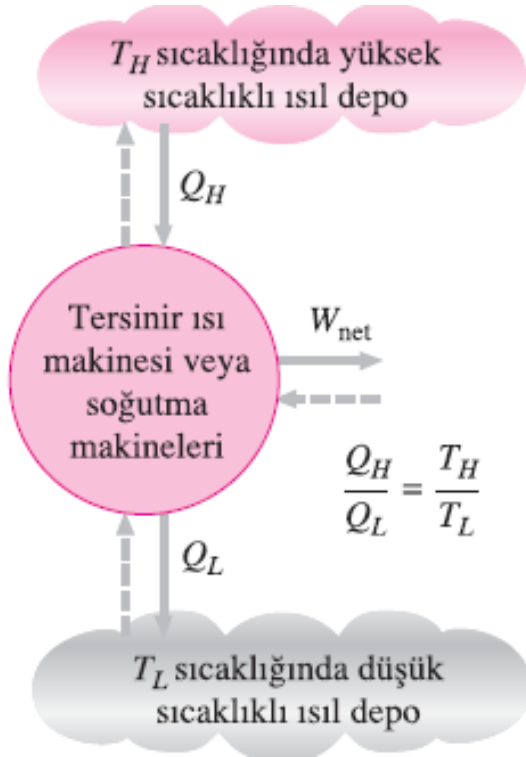


Aynı ısıl depolar arasında çalışan tüm tersinir ısı makinelerinin verimi eşittir.

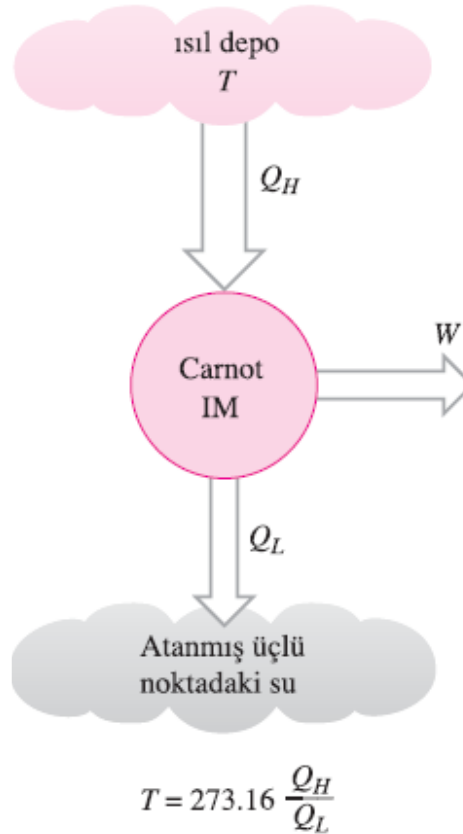
Sıcaklığı ölçmek için kullanılan maddelerin özelliklerinden bağımsız olan sıcaklık ölçeğine **termodinamik sıcaklık ölçeği** adı verilir. Bu tür bir sıcaklık ölçeği, termodinamik hesaplarda büyük kolaylık sağlar.

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

$T_H = 1000$ K sıcaklığında
yüksek sıcaklıklı ısı depo

Q_H

Carnot
IM
 $\eta_{th} = \%70$

$W_{net,çıkan}$

Q_L

$T_L = 300$ K sıcaklığında
düşük sıcaklıklı ısı depo

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

Herhangi bir ısı makinesi

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

Carnot ısı makinesi

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

$T_H = 1000$ K sıcaklığında
yüksek sıcaklıklı ısı depo

Tersinir IM
 $\eta_{th} = \%70$

Tersinmez IM
 $\eta_{th} = \%45$

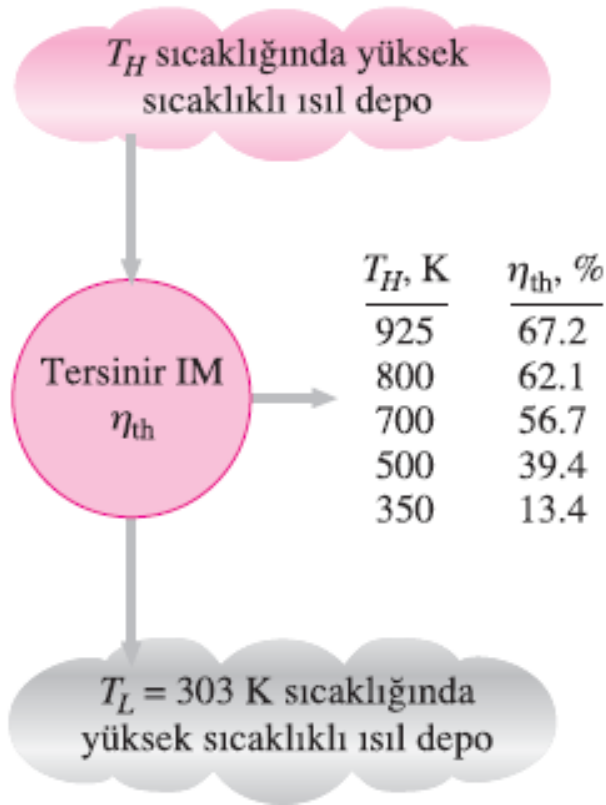
Olanaksız IM
 $\eta_{th} = \%80$

$T_L = 300$ K sıcaklığında
düşük sıcaklıklı ısı depo

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

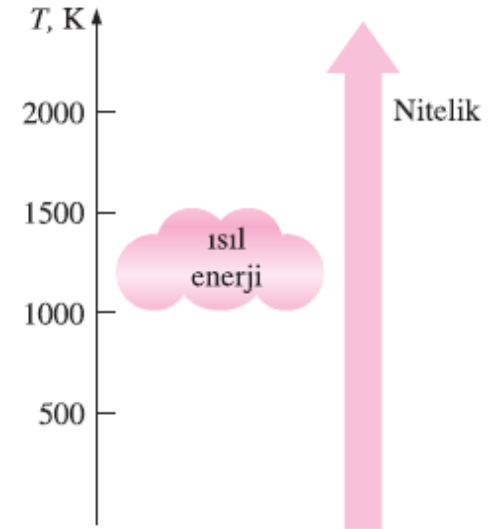
$$\eta_{th} \begin{cases} < \eta_{th,tr} & \text{tersinmez ısı makinesi} \\ = \eta_{th,rev} & \text{tersinir ısı makinesi} \\ > \eta_{th,tr} & \text{olanaksız ısı makinesi} \end{cases}$$

Enerjinin Niteliği



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

Burada sıcaklık için °C birimi kullanabilir miyiz?

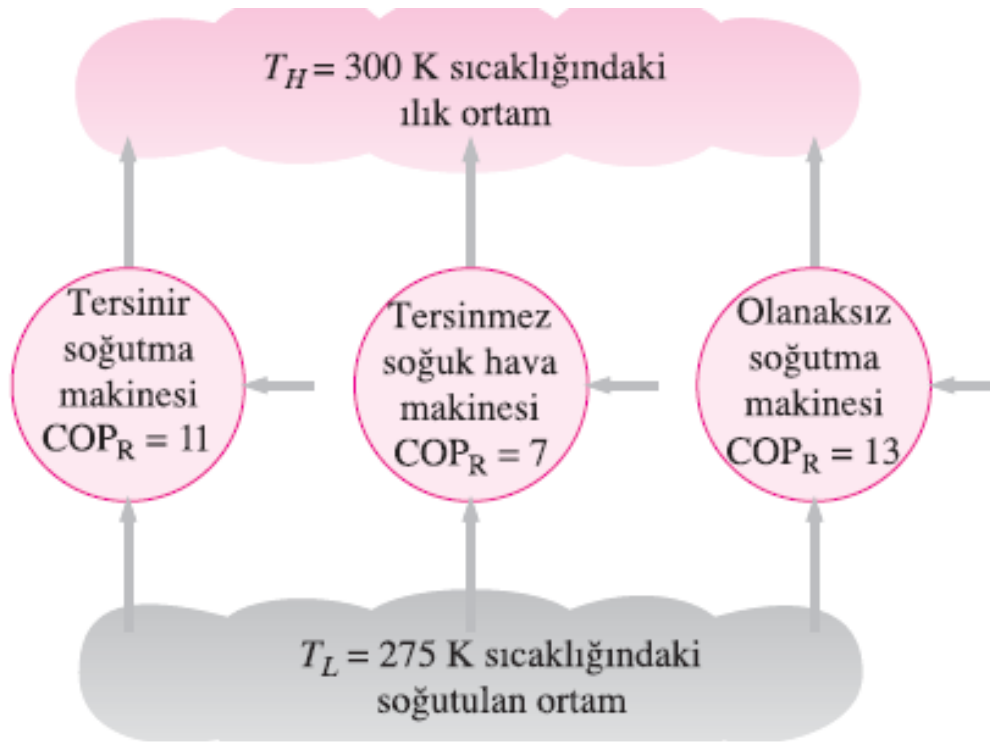


Isıl enerjinin sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, niteliği de o kadar yüksek olur.

Kaynak sıcaklığına bağlı olarak ısıнын 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

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

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

Carnot soğutma makinesi veya ısı pompası

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

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

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

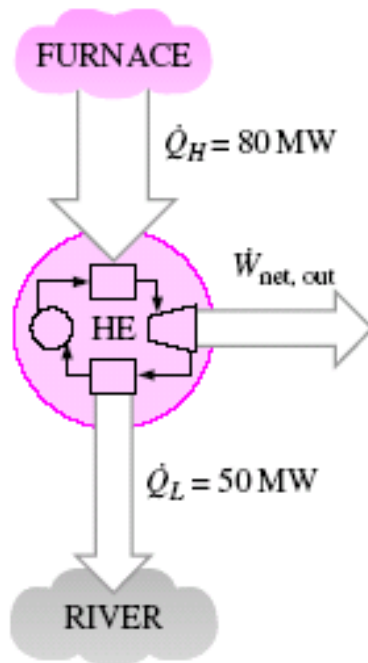
- Birinci yasaya giriş
- Isıl enerji depoları
- Isı makineleri
 - Isıl verim
 - İkinci kanun: Kelvin-Planck ifadesi
- Soğutma makineleri ve ısı pompaları
 - Etkinlik Katsayısı (COP)
 - İkinci kanun: Clausius ifadesi
- Devridaim makineleri
- Tersinir ve tersinmez hal değişimleri
 - Tersinmezlikler, İçten ve Dıştan tersinir hal değişimleri
- Carnot çevrimi
 - Ters Carnot çevrimi
- Carnot ilkeleri
- Termodinamik sıcaklık ölçeği
- Carnot ısı makineleri
 - Enerjinin niteliği
- Carnot soğutma makinesi ve ısı pompası

ÖRNEK

Bir ısı makinesine kazandan 80 MW ısı geçişi olmaktadır. Isı makinesinin yakındaki bir akarsuya atık olarak verdiği ısı ise 50 MW'tır. Isı makinesinin net gücünü ve ısı verimini hesaplayın.

Çözüm

Bu ısı makinesi için kazan, yüksek sıcaklıktaki ısı enerji deposu, akarsu ise düşük sıcaklıktaki ısı enerji deposu olmaktadır. Isı makinesinin aldığı ve verdiği ısılar,



$$\dot{Q}_H = 80 \text{ MW} \quad \text{and} \quad \dot{Q}_L = 50 \text{ MW}$$

$$\dot{W}_{\text{net, out}} = \dot{Q}_H - \dot{Q}_L = (80 - 50) \text{ MW} = 30 \text{ MW}$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\dot{W}_{\text{net, out}}}{\dot{Q}_H} = \frac{30 \text{ MW}}{80 \text{ MW}} = 0.375 \text{ (or 37.5\%)}$$

ÖRNEK

Bir buzdolabının iç ortamından dakikada 360 kJ ısı çekilerek iç ortam 4 °C sıcaklıkta tutulmaktadır. Buzdolabını çalıştırmak için gerekli güç 2 kW olduğuna göre, (a) buzdolabının etkinlik katsayısını, (b) buzdolabından mutfağa olan ısı geçişini hesaplayın.

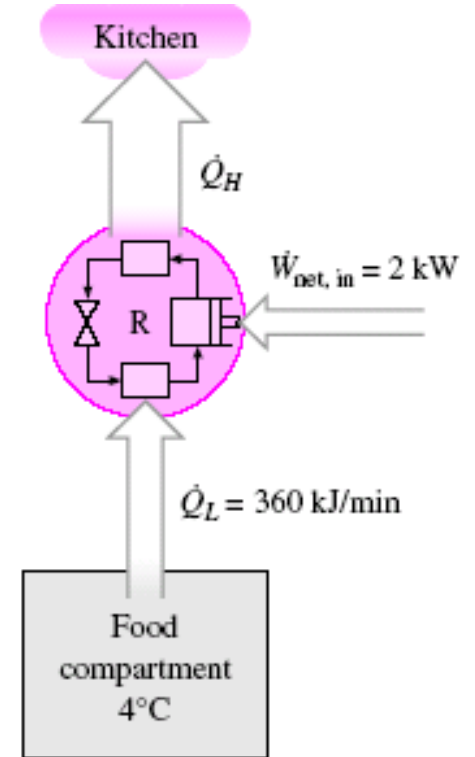
Çözüm

(a) Soğutma makinesinin (buzdolabının) etkinlik katsayısı;

$$\text{COP}_R = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{\text{net, in}}} = \frac{360 \text{ kJ/min}}{2 \text{ kW}} \left(\frac{1 \text{ kW}}{60 \text{ kJ/min}} \right) = 3$$

(b) Buzdolabının mutfağa verdiği ısıyı hesaplamak için birinci yasadan yararlanılabilir:

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_L + \dot{W}_{\text{net, in}} = 360 \text{ kJ/min} + (2 \text{ kW}) \left(\frac{60 \text{ kJ/min}}{1 \text{ kW}} \right) = 480 \text{ kJ/min}$$



Dikkat edilirse mutfağa geçen ısı, soğutulan ortamdan çekilen ısıyla buzdolabına giren elektrik işinin toplamıdır. Mutfağa geçen ısı, mutfağın iç enerjisini (sıcaklığını) artırmaktadır. Bu örnekten de açıkça görüldüğü gibi, enerji bir biçimden diğerine dönüşebilmekte, bir ortamdan başka bir ortama geçebilmekte, fakat hiçbir zaman yok olmamaktadır.

ÖRNEK

Bir evi ısıtmak için ısı pompası kullanılmaktadır. Dış sıcaklığın $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu bir zamanda evin ısı kaybı 80000 kJ/h 'dir. Evin iç sıcaklığı $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Isı pompasının etki katsayısı (COP_{IP}) bu koşullarda 2.5 ise,

(a) Isı pompasının tükettiği güç,

(b) Soğuk dış havadan ısı pompasına geçen ısıyı hesaplayın.

Çözüm

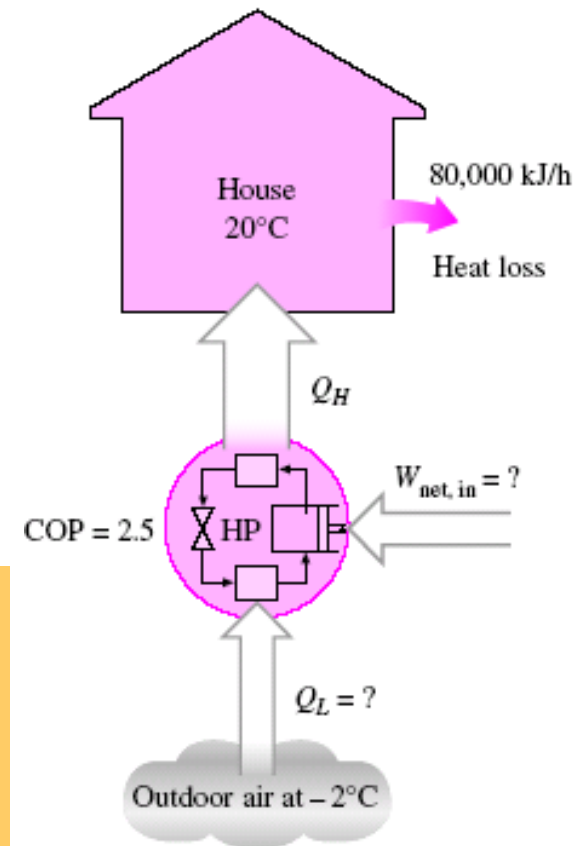
(a) Şekilde gösterilen ısı pompası tarafından tüketilen güç, ısı pompası için etkinlik katsayısı:

$$\dot{W}_{\text{net, in}} = \frac{\dot{Q}_H}{\text{COP}_{\text{HP}}} = \frac{80,000\text{ kJ/h}}{2.5} = 32,000\text{ kJ/h (or 8.9 kW)}$$

(b) Dışarıdan alınması gereken ısı çevrim için enerjinin korunumu ilkesinden;

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_H - \dot{W}_{\text{net, in}} = (80,000 - 32,000)\text{ kJ/h} = 48,000\text{ kJ/h}$$

Eve bir saatte verilen 80000 kJ ısıнын 48000 kJ kadarlık bölümü soğuk dış havadan alınmaktadır. Bu nedenle, ödeme yapılarak alınan enerji, ısı pompasına bir saatte elektrik enerjisi olarak giren 32000 kJ enerjidir. Eğer doğrudan bir elektrikli ısıtıcı kullanılsaydı, saatte 80000 kJ enerjinin tümünün ödenmesi gerekirdi. Bu değer ısı pompası için yapılması gereken ödemenin 2.5 katıdır.



ÖRNEK

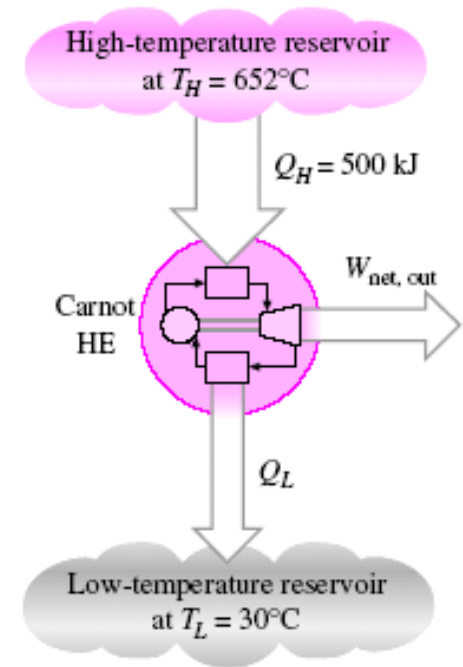
Şekilde gösterilen Carnot ısı makinesi, 652 °C sıcaklıktaki bir ısıl enerji deposundan 500 kJ enerji almakta ve 30 °C sıcaklıktaki bir ısıl enerji deposuna ısı vermektedir,
(a) Carnot makinesinin ısıl verimini,
(b) Düşük sıcaklıktaki ısıl enerji deposuna verilen ısıyı hesaplayın.

Çözüm (a) Carnot ısı makinesi tersinir bir makinedir, bu nedenle ısıl verimi:

$$\eta_{th, C} = \eta_{th, rev} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{(30 + 273) \text{ K}}{(652 + 273) \text{ K}} = 0.672$$

(b) Tersinir bir ısı makinesi tarafından düşük sıcaklıktaki ısıl enerji deposuna verilen ısı:

$$Q_{L, rev} = \frac{T_L}{T_H} Q_{H, rev} = \frac{(30 + 273) \text{ K}}{(652 + 273) \text{ K}} (500 \text{ kJ}) = 164 \text{ kJ}$$



Böylece, incelenen Carnot ısı makinesi her çevrimde aldığı 500 kJ ısıнын 163.8 kJ'lük bölümünü düşük sıcaklıktaki ısıl enerji deposuna vermektedir.

ÖRNEK

Bir evi ısıtmak için ısı pompası kullanılmaktadır. Evin içi sürekli olarak 21 °C sıcaklıkta tutulmaktadır. Dışarıda sıcaklık -5 °C iken evin ısı kaybı 135000 kJ/h'dir. Verilen koşullarda ısı pompasını çalıştırmak için en az ne kadar güç gerekecektir?

Çözüm

Evin içini istenen sıcaklıkta tutabilmek için, ısı pompası kaybedilen ısı enerji kadar ısı enerjiyi eve sağlamak zorundadır. Başka bir deyişle, ısı pompası eve (yüksek sıcaklıktaki ısı enerji deposuna) $Q_H = 135000 \text{ kJ/h} = 37.5 \text{ kW}$ ısı vermek durumundadır.

$$\text{COP}_{\text{HP, rev}} = \frac{1}{1 - T_L/T_H} = \frac{1}{1 - (-5 + 273 \text{ K})/(21 + 273 \text{ K})} = 11.3$$

$$\dot{W}_{\text{net, in}} = \frac{Q_H}{\text{COP}_{\text{HP}}} = \frac{37.5 \text{ kW}}{11.3} = 3.32 \text{ kW}$$

Isı pompası evin ısı gereksinimini 3.32 kW elektrik gücü tüketerek karşılamaktadır. Eğer bu evde elektrikli ısıtıcılar kullanılsaydı, güç gereksinimi bu değerin 11.3 katı olan 37.5 kW olurdu. Bunun nedeni, elektrikli ısıtıcılarda elektriğin ısıya dönüşüm oranının 1:1 olmasıdır. Fakat ısı pompasıyla dışarıdan alınan ısı enerjinin bir soğutma çevrimiyle eve aktarılması sadece 3.32 kW güç gerektirmektedir.

