

ISIL SİSTEM MODELLEMENİN TEMELLERİ

Doç. Dr. Özgür Bayer (ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi)

Deniz Alp Yılmaz (ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Öğrencisi)

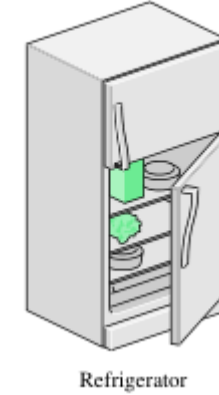
Termodinamik Nedir?

- Enerji ve entropi bilimi
- Isıyla, enerjiyle ve ısı ve enerji ile etkileşim halindeki maddelerin özellikleriyle ilgilenen bilim dalı
- Mühendisler, çıktılardaki artış, kısıtlı bir kaynağın optimum kullanımı, toplam maliyetlerde azalma veya daha az çevresel etki gibi perspektiflerde geliştirilmiş tasarımlar ve daha iyi performans elde etmeye çalışırlar. Mühendislik termodinamiğinin ilkeleri bu hedeflere ulaşmada önemli bir rol oynar.

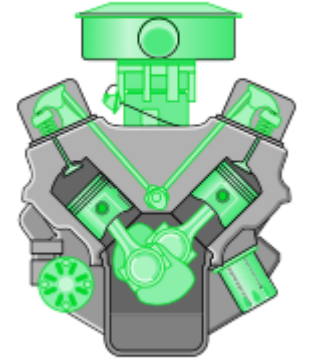
Termodinamik Nedir?

Termodinamiğin önemli olduğu bazı alanlar:

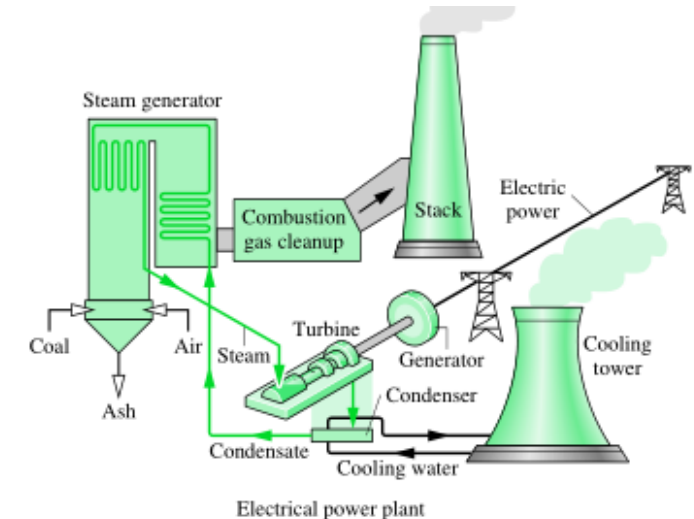
- Otomobil motorları
- Türbinler
- Kompresörler, pompalar
- Fosil ve nükleer yakıtlı elektrik santralleri
- Uçak ve roketler için tahrik sistemleri
- Yakma sistemleri
- Kriyojenik sistemler, gaz ayırma ve sıvılaştırma
- Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri
 - Buhar sıkıştırma ve absorpsiyonlu soğutma
 - Isı pompaları



Refrigerator



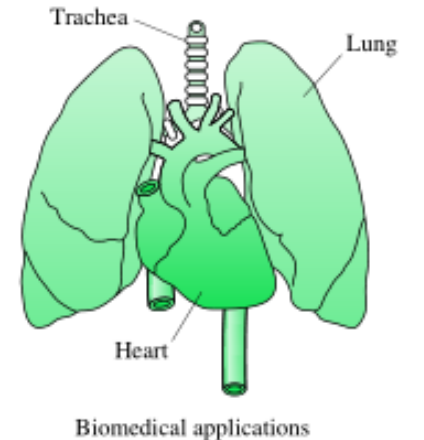
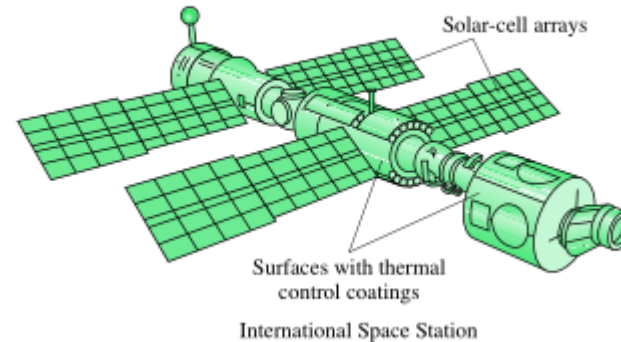
Automobile engine



Termodinamik Nedir?

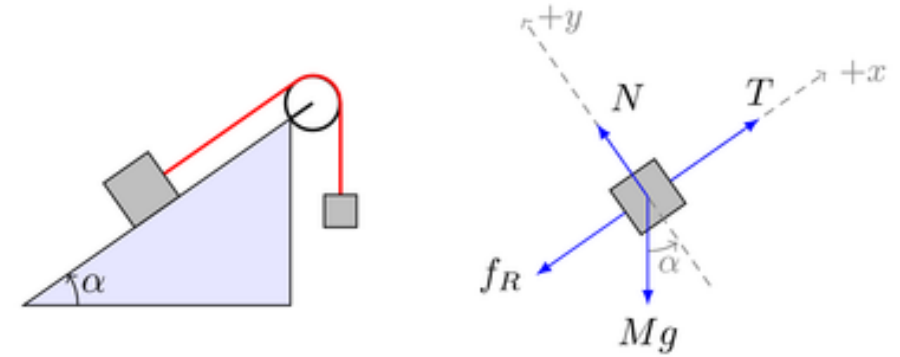
Termodinamiğin önemli olduğu bazı alanlar:

- Elektronik ekipmanların soğutulması
- Alternatif enerji sistemleri
 - Yakıt hücreleri
 - Güneş enerjisiyle etkinleştirilen ısıtma, soğutma ve enerji üretimi
 - Jeotermal sistemler
 - Okyanus termal, dalga ve gelgit enerjisi üretimi
 - Rüzgar gücü
- Biyomedikal uygulamalar
 - Yaşam destek sistemleri
 - Yapay organlar



Termodinamik Sistemler

- Herhangi bir mühendislik uygulamasında en önemli adımlardan birisi, üzerinde çalışılan problemin tanımlanmasıdır.
- Örneğin bir mekanik problemde ilk adım olarak üzerinde çalışılacak olan cisim bir serbest cisim olarak tanımlanır ve ardından bu cisim üzerine etki eden tüm kuvvetler belirlenir. Cisim ve üzerine etki eden kuvvetlerin tanımlanmasının ardından Newton'un ikinci hareket yasasının uygulanmasına geçilir.



Newton's Laws of Motion

1st Law



A body in motion remains in motion or a body at rest remains at rest, unless acted upon by a force.

2nd Law



Force equals mass times acceleration: $F = m \cdot a$

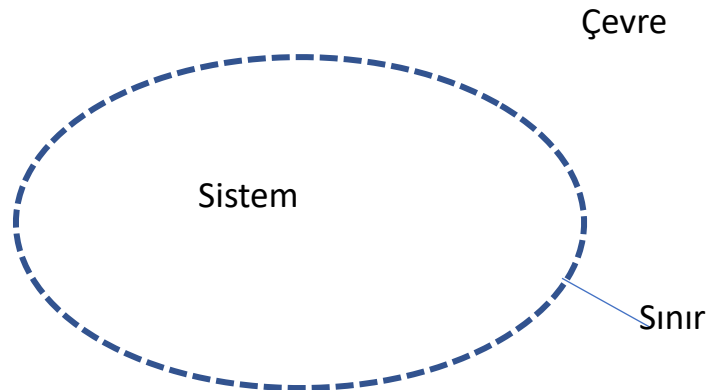
3rd Law



For every action, there is an equal and opposite reaction.

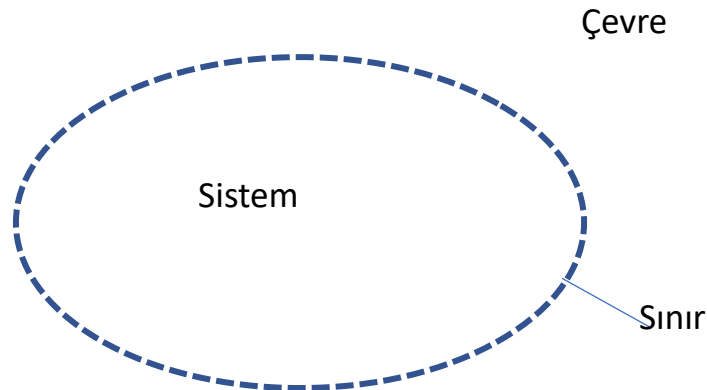
Termodinamik Sistemler

- Benzer şekilde, termodinamik uygulamalarında da öncelikle üzerinde çalışılacak olan sistemin belirlenmesi ve sistemin çevresi ile olan etkileşiminin tanımlanmasının ardından bir veya birden çok fiziksel yasanın uygulanması aşamasına geçilir.
- Sistem, söz konusu termodinamik analizin uygulanacağı her şey olarak tanımlanır ve bir serbest cisim kadar basit olabileceği gibi bütün bir kimyasal rafineri kadar karmaşık da olabilir. Uygulamanın ihtiyaçlarına göre kapalı, sert duvarlı bir tank içinde bulunan bir miktar maddeyi veya içinden doğal gazın aktığı bir boru hattını incelemek isteyebiliriz.



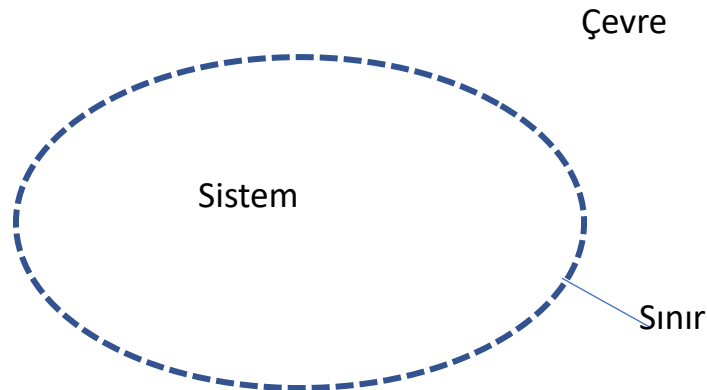
Termodinamik Sistemler

- Sistem içindeki maddelerin bileşimi sabit olabileceği gibi kimyasal veya nükleer reaksiyonlarla değişebilir. Analiz edilen sistemin şekli veya hacmi, bir silindir içerisindeki gazın bir piston tarafından sıkıştırılmasında veya bir balon şişirilmesinde olduğu gibi değişkenlik gösterebilir.
- Sistemin dışındaki her şey sistemin çevresinin bir parçası olarak kabul edilir. Sistem çevresinden, hareketsiz veya hareket halinde olabilen belirli bir sınır ile ayırt edilir.



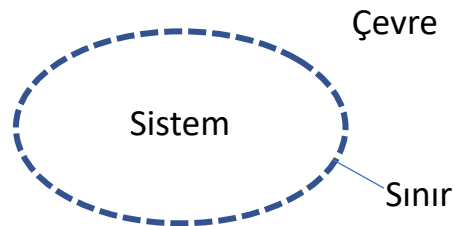
Termodinamik Sistemler

- Bir sistem ile çevresi arasında, sınır boyunca gerçekleşen etkileşimler mühendislik termodinamiğinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle herhangi bir termodinamik analize geçmeden önce sınırın dikkatlice çizilmesi önemlidir.
- Aynı fiziksel fenomen genellikle sistem, sınır ve çevrenin alternatif seçimleri açısından analiz edilebilir. Sistem ve sınırın seçimi, incelenmek istenen fenomen ve gerçekleştirilecek analizleri kolaylaştırması gibi unsurlar göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.



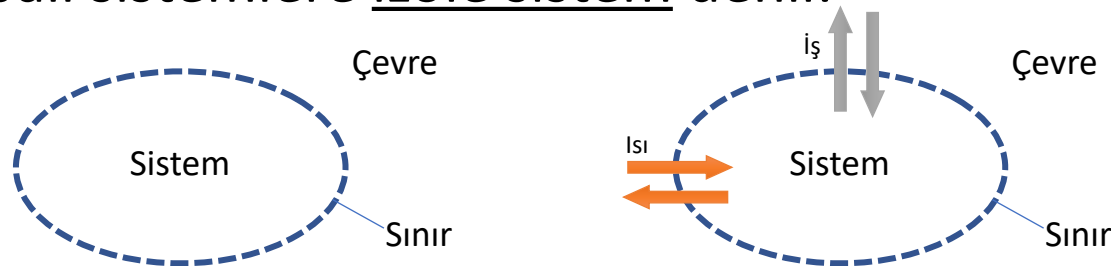
Termodinamik Sistem Türleri

- Termodinamik sistemler temel olarak denetim kütlesi (kapalı sistem) ve denetim hacmi (açık sistem) olmak üzere iki gruba ayrılır. Kapalı sistem, sabit bir madde miktarına atıfta bulunurken, açık sistem, uzayda içinden sınırları boyunca kütlenin akabileceği bir hacmi ifade eder.
- Kapalı sistem, belirli bir madde miktarının inceleneceği durumlarda tanımlanır. Kapalı bir sistem her zaman aynı maddeyi içerir ve sınırları boyunca kütle aktarımı olamaz.
- Çevresiyle hiçbir şekilde etkileşime girmeyen (sınırları boyunca kütle aktarımına ek olarak ısı transferi veya iş aktarımı da gerçekleşmeyen) kapalı sistemlere izole sistem denir.



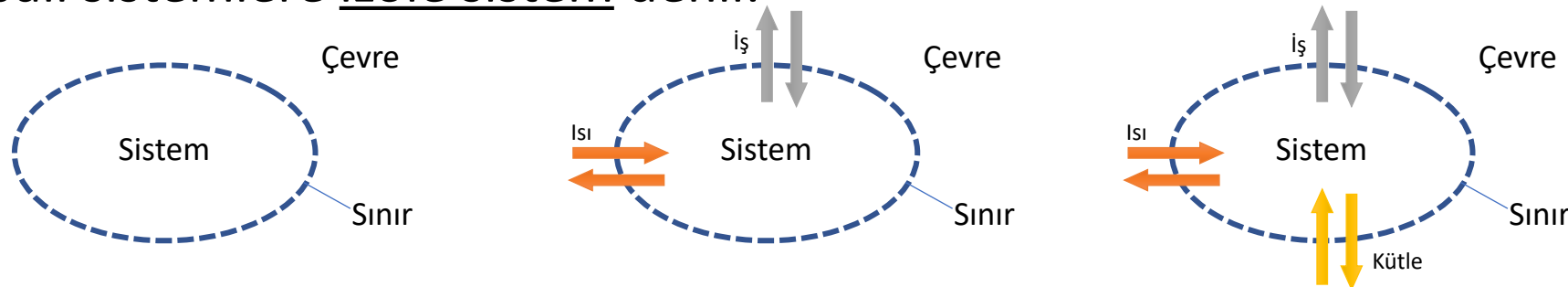
Termodinamik Sistem Türleri

- Termodinamik sistemler temel olarak denetim kütlesi (kapalı sistem) ve denetim hacmi (açık sistem) olmak üzere iki gruba ayrılır. Kapalı sistem, sabit bir madde miktarına atıfta bulunurken, açık sistem, uzayda içinden sınırları boyunca kütlenin akabileceği bir hacmi ifade eder.
- Kapalı sistem, belirli bir madde miktarının inceleneceği durumlarda tanımlanır. Kapalı bir sistem her zaman aynı maddeyi içerir ve sınırları boyunca kütle aktarımı olamaz.
- Çevresiyle hiçbir şekilde etkileşime girmeyen (sınırları boyunca kütle aktarımına ek olarak ısı transferi veya iş aktarımı da gerçekleşmeyen) kapalı sistemlere izole sistem denir.



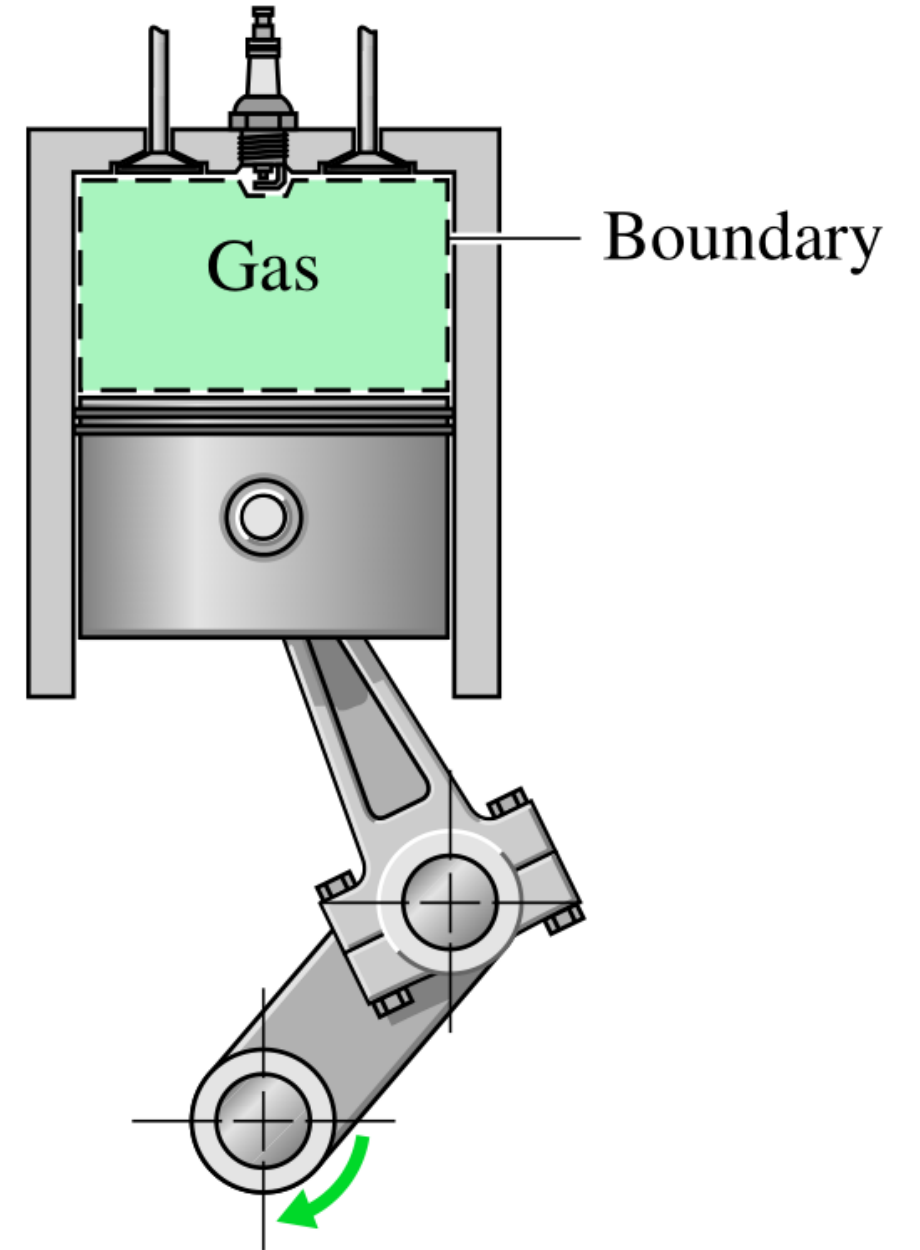
Termodinamik Sistem Türleri

- Termodinamik sistemler temel olarak denetim kütlesi (kapalı sistem) ve denetim hacmi (açık sistem) olmak üzere iki gruba ayrılır. Kapalı sistem, sabit bir madde miktarına atıfta bulunurken, açık sistem, uzayda içinden sınırları boyunca kütlenin akabileceği bir hacmi ifade eder.
- Kapalı sistem, belirli bir madde miktarının inceleneceği durumlarda tanımlanır. Kapalı bir sistem her zaman aynı maddeyi içerir ve sınırları boyunca kütle aktarımı olamaz.
- Çevresiyle hiçbir şekilde etkileşime girmeyen (sınırları boyunca kütle aktarımına ek olarak ısı transferi veya iş aktarımı da gerçekleşmeyen) kapalı sistemlere izole sistem denir.



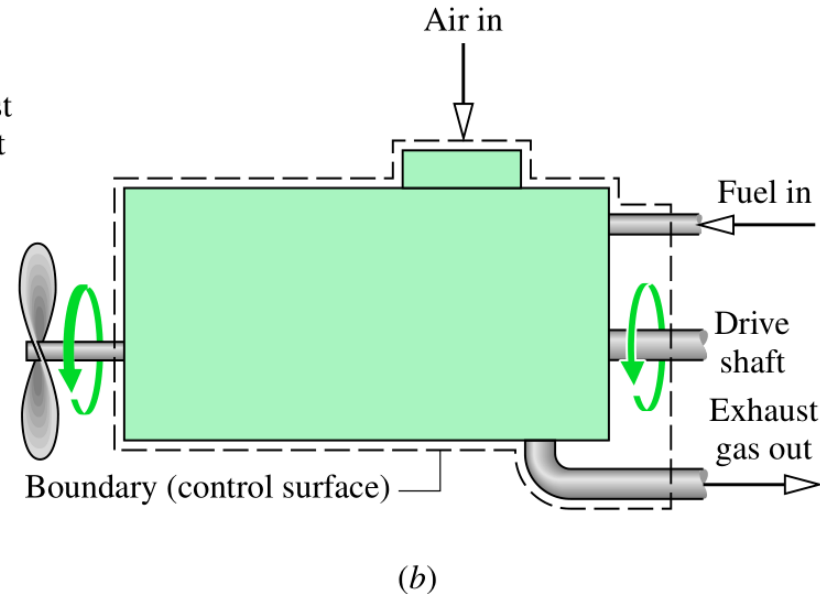
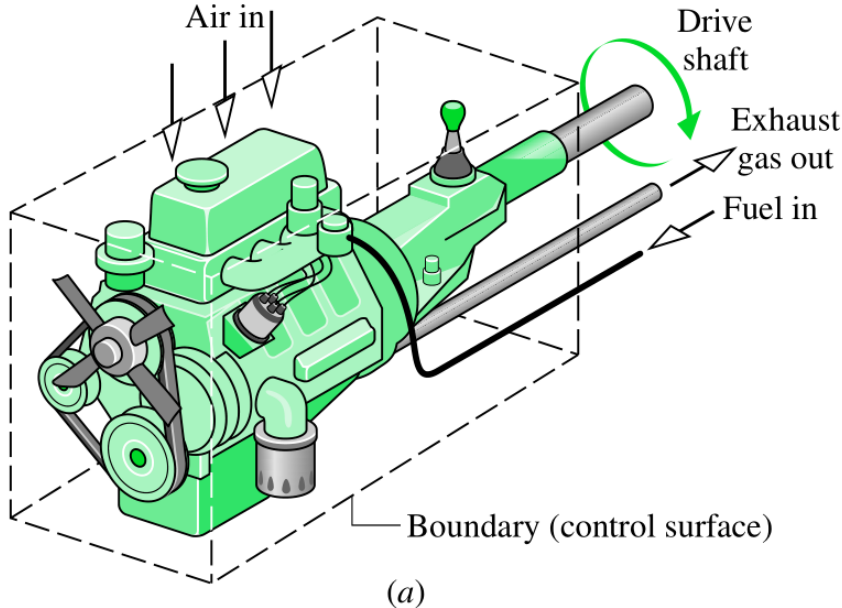
Termodinamik Sistem Türleri

- Şekilde, bir piston-silindir tertibatı içerisindeki gaz görünmektedir. Valfler kapalıyken gazı kapalı bir sistem olarak düşünebiliriz. Sınır, şekildeki kesikli çizgilerle gösterildiği gibi, piston ve silindir duvarlarının hemen içinde tanımlanmıştır. Sınırın gaz ve piston arasındaki kısmı, pistonla birlikte hareket etmektedir. Hiçbir kütle, sınırın bu veya başka bir kısmından geçmemektedir.



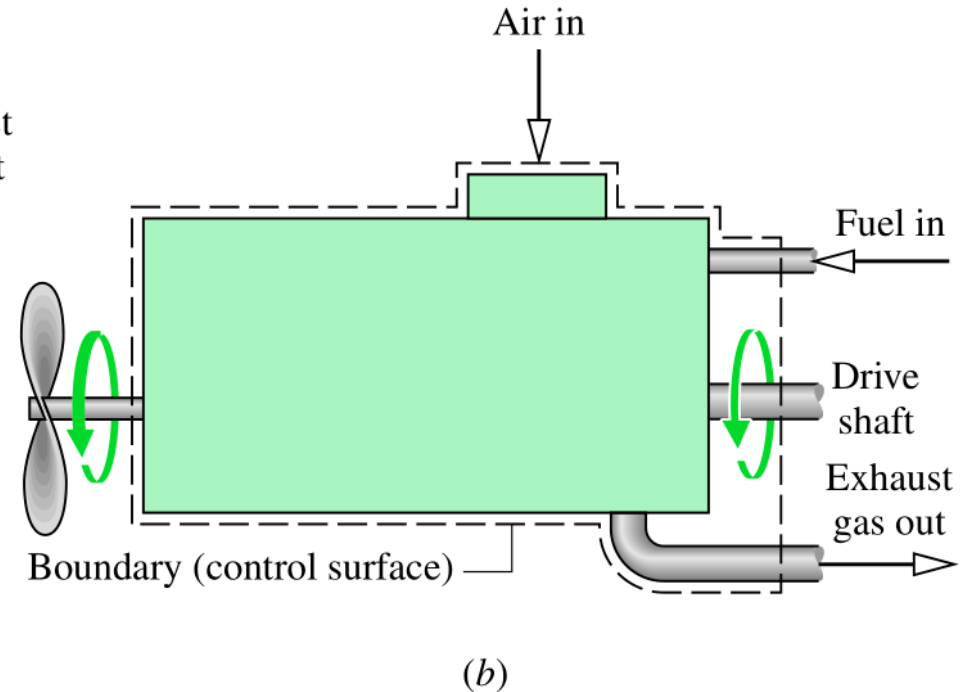
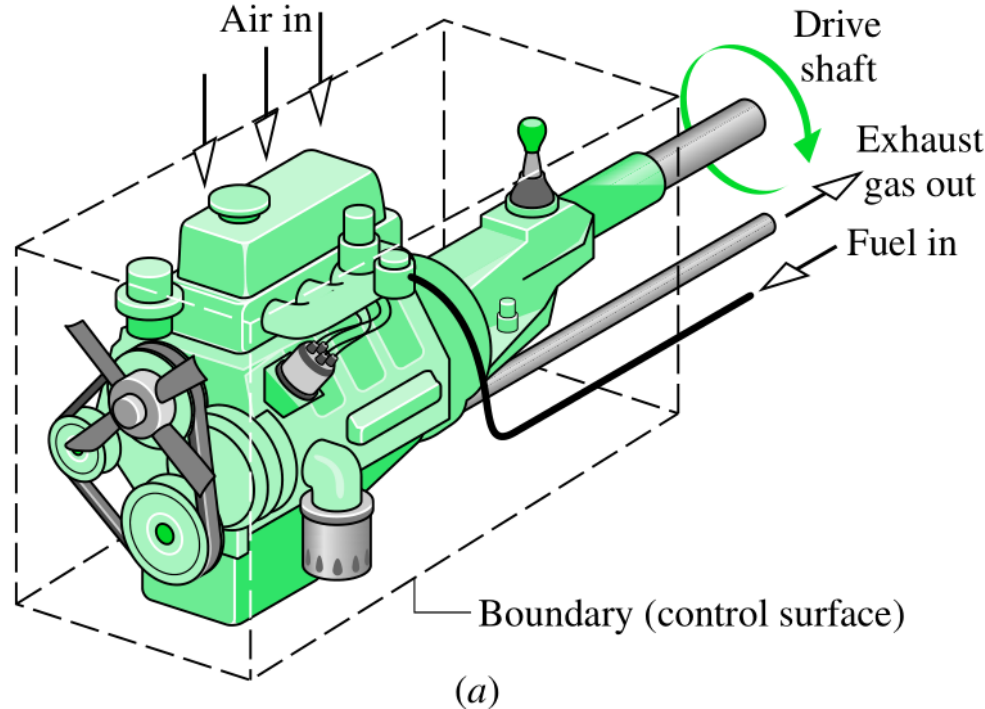
Termodinamik Sistem Türleri

- Türbinler, pompalar veya proje kapsamında çalışmakta hava soğutmalı elektrik generatörleri gibi içinden kütle akan sistemlerin termodinamik analizleri de prensipte bir kapalı sistem tanımlanarak yapılabilir. Ancak çoğu durumda sistemi içinden kütlenin aktığı belirli bir uzay bölgesi olarak ele almak daha kolaydır. Bu yaklaşımla, önceden belirlenmiş bir sınır içerisinde kalan bir bölge incelenir. Bölgeye denetim hacmi denir ve kütle denetim hacminin sınırlarından geçebilir.



Termodinamik Sistem Türleri

- Şekilde bir motorun bir diyagramı gösterilmektedir. Kesik çizgi, motoru çevreleyen denetim hacmini tanımlar. Hava, yakıt ve egzoz gazlarının sınırı geçtiği görülmektedir. Mühendislik analizi için genellikle şeklin (b) kısmındakine benzer bir diyagram tercih edilmektedir.



Özellik, Durum ve Proses

- Bir sistemin tanımlanması ve davranışının anlaşılabilmesi, sistemin özellikleri ve bu özelliklerin arasındaki ilişki hakkında bilgi sahibi olmayı gerektirir. Bir özellik, sistemin önceki davranışı (geçmişi) bilgisinden bağımsız olarak, belirli bir zamanda sayısal bir değerin atanabileceği kütle, hacim, enerji, basınç ve sıcaklık gibi makroskopik karakteristiğidir. Termodinamik ayrıca kütle akış hızı ve iş ve ısı yoluyla enerji transferi gibi özellik olmayan niceliklerle de ilgilenir.
- Durum sistemin herhangi bir andaki özellikleri ile tanımlanır. Sistem özellikleri arasında tanımlı bağıntılar bulunduğundan, durum genellikle özelliklerin tamamı yerine bir alt kümesindeki değerler ile tanımlanabilir ve diğer tüm özellikler bu az sayıdaki değerler vasıtasıyla belirlenebilir.

Özellik, Durum ve Proses

- Proses, bir durumdan diğerine geçiştir. Prosesin tanımlanabilmesi için sistemin en az bir özelliğinin (ve doğal olarak durumunun) değişmesi gerekir. Eğer bir sistemde, iki farklı zamanda özelliklerin tamamı aynı değerlerdeyse, bu zamanlarda aynı durumdadır ve prosesten söz edilemez. Bir sistemin özelliklerinin hiçbirisi zamanla değişmiyorsa, bu sistemin kararlı durumda olduğu söylenir.
- Bir termodinamik çevrim, aynı durumda başlayan ve biten bir prosesler dizisidir. Bir çevrimin sonunda tüm özellikler başlangıçta sahip oldukları değerlere sahiptir ve döngü boyunca sistem net bir durum değişikliği yaşamaz.

Kaplamsal ve Yeğinsel Özellikler

- Termodinamik özellikler kaplamsal (ekstensif) ve yeğinsel (intensif) olmak üzere iki genel sınıfa ayrılmaktadır.
- Tüm sistemdeki değeri, sistemin bölündüğü parçalardaki değerlerinin toplamı olan özellikler kaplamsal olarak adlandırılır. Kütle, hacim, enerji gibi bazı özellikler kaplamsal özelliklere örnek olarak verilebilir.
- Kaplamsal özellikler, sistemin boyutuna ve kapsamına bağlıdır. Bir sistemin kaplamsal özellikleri zamanla değişebilir ve birçok termodinamik analiz esas olarak bir sistem çevresiyle etkileşim halindeyken kütle ve enerji gibi kaplamsal özelliklerdeki değişiklikleri ele alır.

Kaplamsal ve Yeğinsel Özellikler

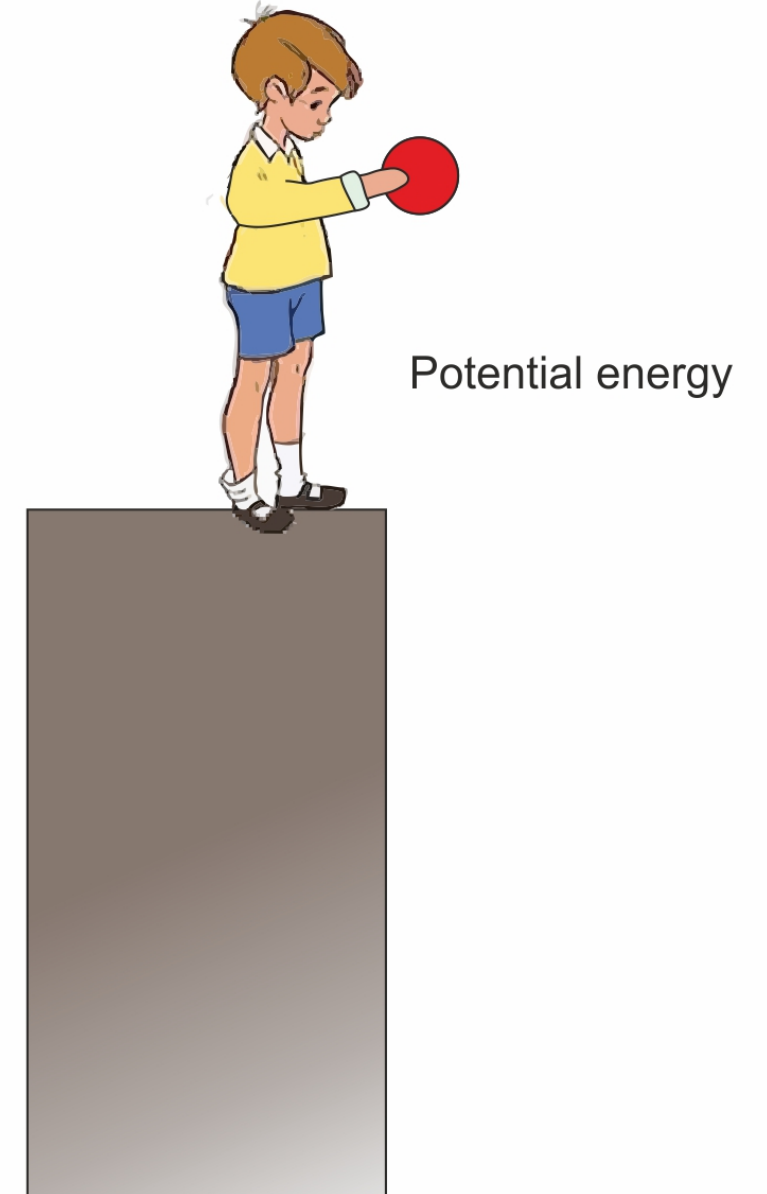
- Yeğinsel özellikler kaplamsal özellikler gibi toplanabilir özellikler değildir. Değerleri, bir sistemin boyutundan veya kapsamından bağımsızdır ve her an sistem içinde konuma bağlı olarak değişebilir. Bu nedenle, yeğinsel özellikler hem konumun hem de zamanın fonksiyonları olabilirler, oysa kaplamsal özellikler en fazla zamanla değişir.
- Özgül hacim, basınç, sıcaklık, viskozite yeğinsel özelliklere örnek olarak verilebilir.

Enerji ve Termodinamiğin Birinci Yasası

- Enerji en genel tanımıyla fiziksel bir sisteme aktarılan, sistem üzerinde iş yapabilme kapasitesinde artış, ısı veya ışıma biçiminde gözlemlenebilen nicel bir özelliktir ve farklı formları vardır.
- Termodinamiğin birinci yasası, enerjinin farklı biçimlere dönüştürülebileceğini, ancak yoktan var edilemeyeceğini veya var olan enerjinin yok edilemeyeceğini belirtir.
- Enerji bir biçimden diğerine dönüştürülebilir ve sistemler arasında aktarılabilir. Kapalı sistemlerde enerji iş ve ısı transferi ile aktarılır. Tüm dönüşümlerde ve transferlerde toplam enerji miktarı korunur.
- Termodinamik analizlerde sıklıkla ele alınan farklı enerji formları ilerleyen slaytlarda özetlenmiştir.

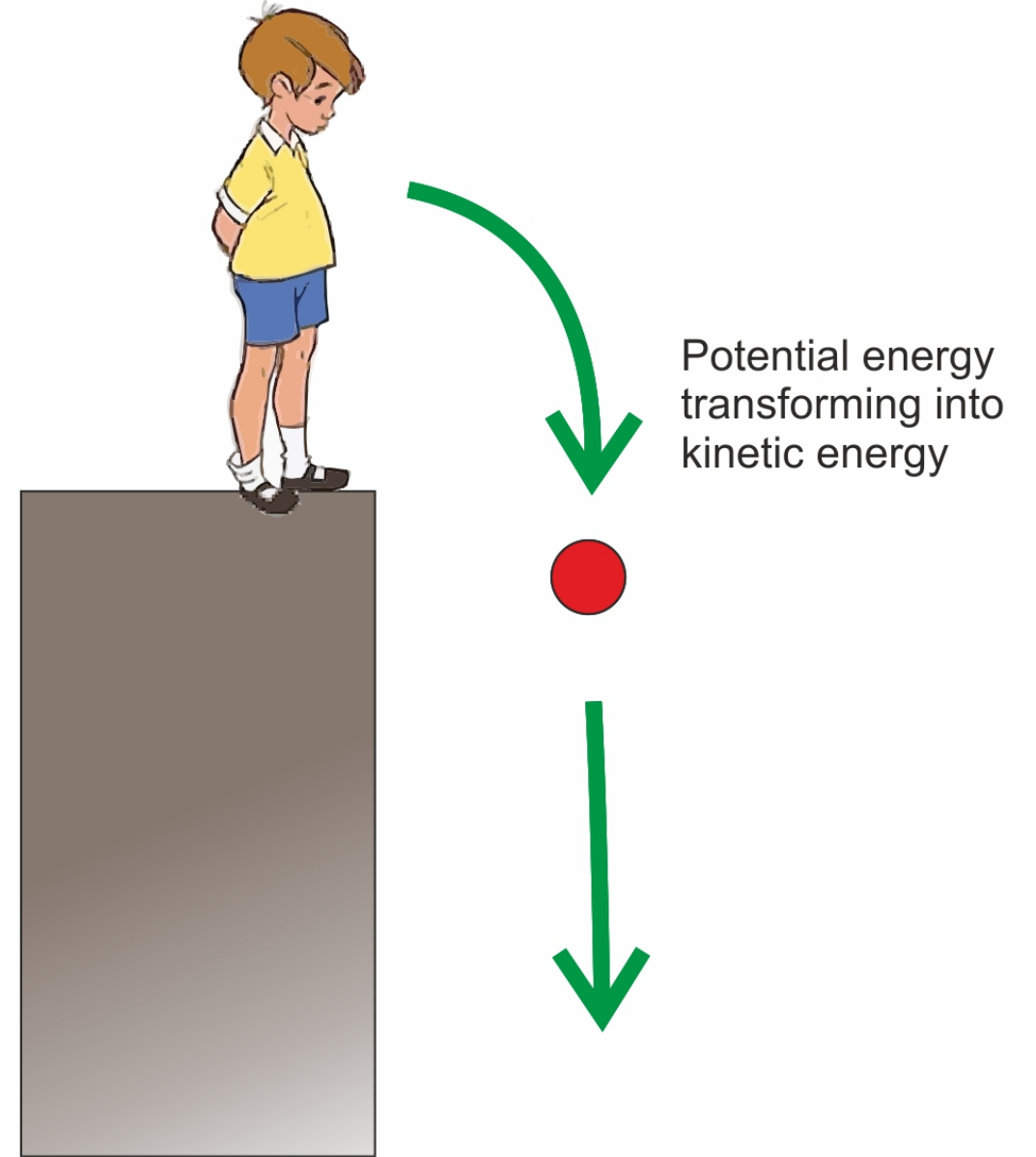
Enerji ve Termodinamiğin Birinci Yasası

- Potansiyel Enerji: Bir nesnenin diğer nesnelere göre konumu, kendi içindeki stresler, elektrik yükü veya diğer faktörler nedeniyle tuttuğu enerjidir. En yaygın potansiyel enerji türleri, bir nesnenin kütlesine ve başka bir nesnenin kütle merkezinden uzaklığına bağlı olan yerçekimsel potansiyel enerji, uzatılmış bir yayın elastik potansiyel enerjisi ve bir elektrik yükünden kaynaklanan elektriksel potansiyel enerjidir. Kaplamsal bir özelliktir.



Enerji ve Termodinamiğin Birinci Yasası

- Kinetik Enerji: Fizikte bir cismin kinetik enerjisi, hareketinden dolayı sahip olduğu enerjidir. Belirli bir kütleye sahip bir cismi hareketsiz durumdan belirtilen hıza hızlandırmak için gerekli iş miktarı olarak tanımlanır. Hızlanma sırasında bu enerjiyi kazanan cisim, hızı değişmediği (dışarıdan başka bir kuvvet etki etmediği) sürece bu kinetik enerjiyi korur. Doğrudan cismin kütlesi ile orantılı olduğu için kaplamsal bir özelliktir.



Enerji ve Termodinamiğin Birinci Yasası

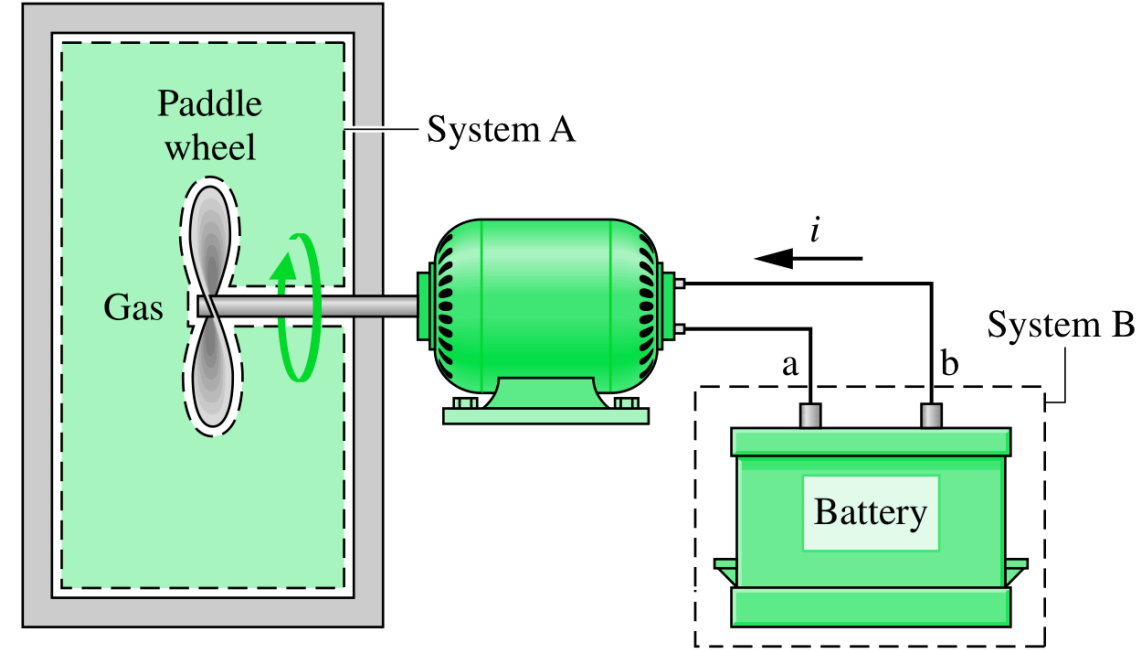
- İç Enerji: Mühendislik termodinamiğinde genellikle, bir sistemin toplam enerjisindeki değişimin üç makroskopik bileşenden oluştuğu kabul edilir. Biri, sistemin bir bütün olarak harici bir koordinat çerçevesine göre hareketiyle ilişkili kinetik enerjideki değişimdir. Bir diğeri, sistemin bir bütün olarak dünyanın yerçekimi alanındaki konumuyla ilişkili yerçekimsel potansiyel enerjisindeki değişiktir. Diğer tüm enerji değişimleri ise sistemin iç enerjisinde toplanır. Kinetik enerji ve yerçekimsel potansiyel enerjisi gibi, iç enerji de sistemin kapsamsal bir özelliğidir.

Enerji ve Termodinamiğin Birinci Yasası

- İş: Termodinamik tanımı ile iş, eğer ki bir sistemin gerçekleştirebileceği yegane etki bir ağırlığın kaldırılması olsa, sistem tarafından çevresi üzerinde yapılacak etki olarak tanımlanır. Bir ağırlığın kaldırılması aslında bir mesafe boyunca hareket eden bir kuvvet olduğu için, termodinamikteki iş kavramı, mekanikteki iş kavramının doğal bir uzantısıdır. Bununla birlikte, bir iş etkileşiminin gerçekleşip gerçekleşmediğinin testi, bir ağırlığın yükselmesinin fiilen meydana gelip gelmediği veya bir kuvvetin fiilen bir mesafe boyunca hareket edip etmediği üzerinden gerçekleştirilmez.

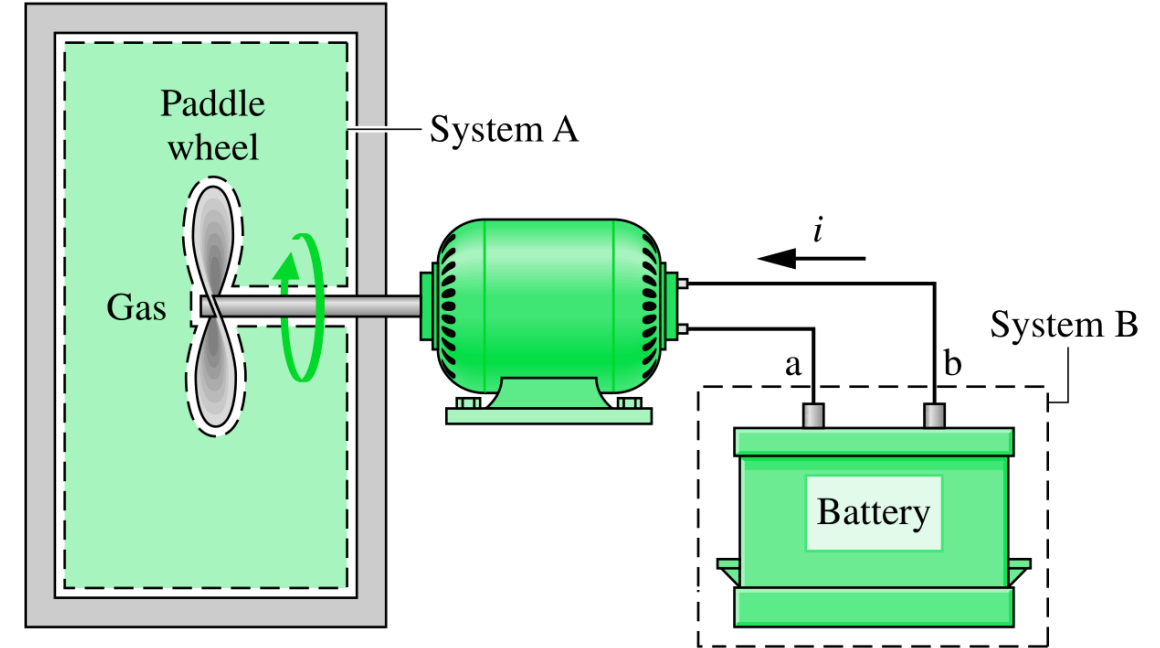
Enerji ve Termodinamiğin Birinci Yasası

- İş: Şekilde A ve B olarak isimlendirilmiş birbirine bağlı iki sistem görünmektedir. A sisteminde yer alan gaz bir pervane tarafından karıştırılmaktadır; başka bir deyişle pervane tarafından gaz üzerinde bir iş gerçekleştirilmektedir. Temel olarak iş, pervane ile gaz arasındaki sınır bölgesinde etki eden kuvvetler ve hareket açısından değerlendirilebilir ve bu tanımlamada iş, kuvvet ve yer değiştirmenin bir ürünü olduğu için işin mekanik anlamdaki tanımı ile doğrudan.



Enerji ve Termodinamiğin Birinci Yasası

- İş: Öte yandan, yalnızca bataryayı içeren B sistemi ele alındığında, sisteminin sınırında kuvvetler ve hareketler belirgin değildir. Bunun yerine, a ve b terminalleri arasında var olan bir elektriksel potansiyel fark tarafından sürülen bir elektrik akımı vardır. Sınırdaki bu tür etkileşimin iş olarak sınıflandırılabilceği, daha önce tanımlamış olduğumuz işin termodinamik tanımından çıkar: Akımın, çevredeki bir ağırlığı kaldıran varsayımsal bir elektrik motoruna verildiğini hayal edebiliriz!



Enerji ve Termodinamiğin Birinci Yasası

- İş: İşin termodinamik anlamda tanımı ilk olarak sanayi devrimi döneminde ortaya çıkmıştır. Bu dönemdeki en önemli termodinamik uygulamaları buhar makinaları üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle işin büyüklüğünün işareti belirlenirken aşağıdaki prensip kullanılmaktadır:

$W > 0$: Sistem tarafından gerçekleştirilen iş

$W < 0$: Sistem üzerine gerçekleştirilen iş

Enerji ve Termodinamiğin Birinci Yasası

- Toplam Enerji: Yukarıda yer alan tanımlamalardan hareketle, bir sistemin toplam enerjisindeki değişim aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilir:

$$E_2 - E_1 = (KE_2 - KE_1) + (PE_2 - PE_1) + (U_2 - U_1)$$

veya

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

Enerji ve Termodinamiğin Birinci Yasası

- Isı Yoluyla Enerji Transferi: Şu ana kadar bir sistemin çevresi ile iş yoluyla gerçekleştirebileceği etkileşimlere değindik ancak kapalı sistemler çevreleri ile iş olarak sınıflandırılmayacak şekillerde de etkileşime girebilirler. Örneğin soğuk su dolu bir cam şişeyi, sıcak bir yaz günü dışarıda bırakmamız halinde, şişe içerisindeki su dışarıdaki sıcak hava ile etkileşir ve hiçbir iş yapılmamasına rağmen suyun enerjisi artar. Bu tür etkileşimlere ısı yoluyla enerji aktarımı denir.
- 19. yüzyılın başlarında James Prescott Joule'ün çalışmalarının gösterdiği üzere, ısı ile enerji transferi yalnızca sistem ve çevresi arasındaki sıcaklık farkının bir sonucu olarak indüklenmekte ve yalnızca sıcaklığın azaldığı doğrultuda gerçekleşmektedir.

Enerji ve Termodinamiğin Birinci Yasası

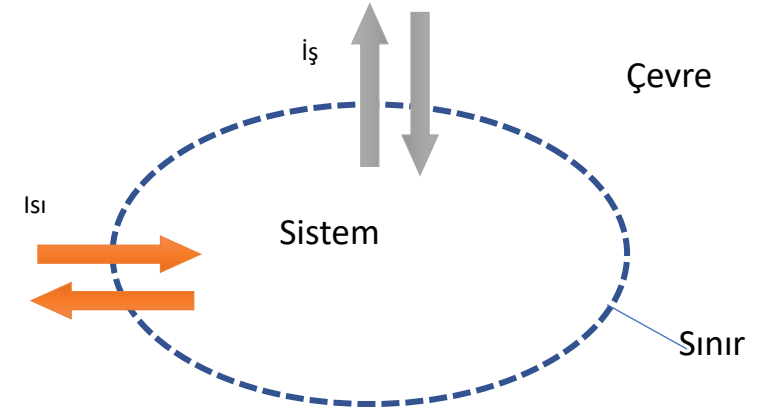
- Isı Yoluyla Enerji Transferi: Bir sistemin sınırları boyunca gerçekleşen ısı yoluyla enerji transferinin büyüklüğünün işareti belirlenirken aşağıdaki prensip kullanılmaktadır:

$Q > 0$: Sisteme ısı transferi

$Q < 0$: Sistemden ısı transferi

Kapalı Sistemler İçin Termodinamiğin Birinci Yasası

- Şu ana kadarki tartışmalardan da anlaşılacağı gibi, kapalı bir sistemin enerjisinin değiştirilebilmesinin tek yolu, enerjinin iş veya ısı yoluyla aktarılmasıdır. Ayrıca, Joule ve diğerlerinin deneylerinde gözlemlendiği üzere enerji kavramının temel bir yönü de enerjinin korunması ilkesidir ve bu ilke termodinamiğin birinci yasası olarak adlandırılmaktadır. Termodinamik sistemlerde korunan bir diğer büyüklük de kütle olmakla beraber, kapalı sistemlerde kütle sabit olduğu için bu koşul otomatik olarak sağlanmaktadır.



$$\left[\begin{array}{l} \text{sistem içerisinde depolanmakta} \\ \text{olan enerjide belirli bir zaman} \\ \text{aralığında gerçekleşen} \\ \text{değişim miktarı} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{sistem içerisine belirli bir} \\ \text{zaman aralığında sınırlardan} \\ \text{ısı transferi yoluyla} \\ \text{aktarılan enerji miktarı} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{sistemin dışına belirli bir} \\ \text{zaman aralığında sınırlardan} \\ \text{iş yoluyla} \\ \text{aktarılan enerji miktarı} \end{array} \right]$$

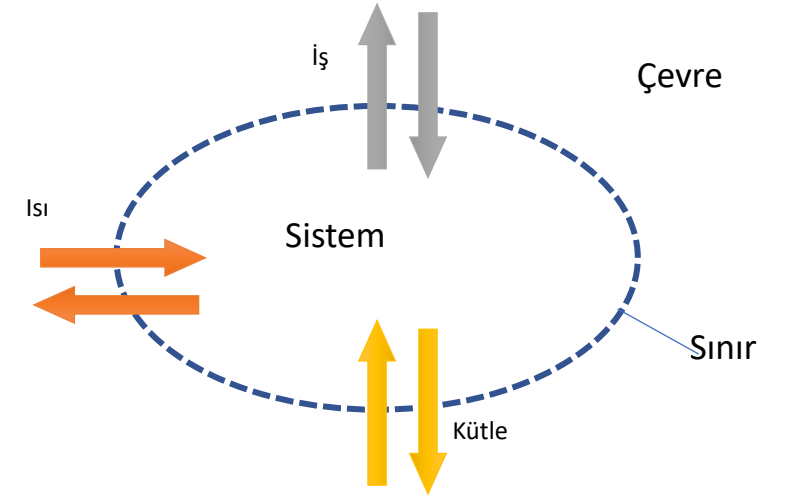
$$E_2 - E_1 = Q - W$$

ya da

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

Açık Sistemler İçin Termodinamiğin Birinci Yasası

- İçerisinden kütle akışı olan türbin, pompa, kompresör veya proje kapsamında ele alınmakta olan elektrik generatörleri gibi cihazlar, belirli bir miktardaki maddenin (kapalı sistem) cihazdan geçerken incelenmesiyle analiz edilebilmesine rağmen, genellikle içinden belirli bir miktarda kütlenin aktığı bir uzay bölgesi (denetim hacmi) olarak ele alınır.
- Kapalı sistemlerde olduğu gibi, bir denetim hacminin sınırı boyunca enerji transferi, iş ve ısı yoluyla gerçekleşebilir. Ek olarak, başka bir tür enerji aktarımı da hesaba katılmalıdır: kütleyle birlikte giriş veya çıkış esnasında taşınan enerji.



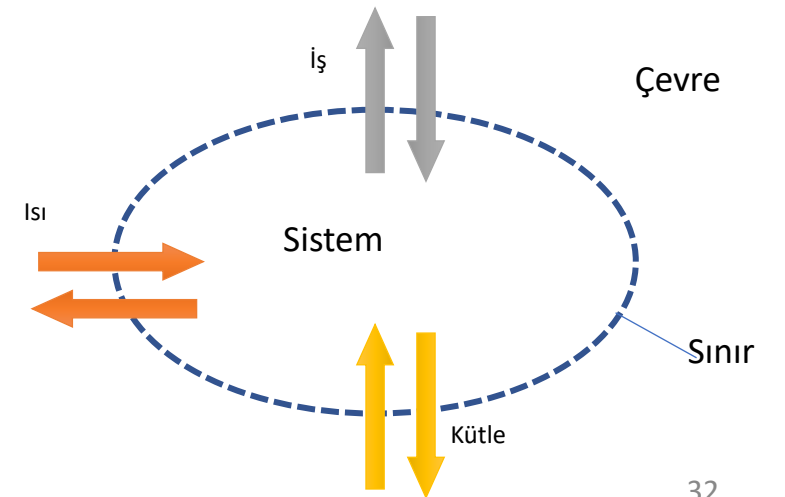
Açık Sistemler İçin Termodinamiğin Birinci Yasası

- Kütlenin Korunumu: Enerji gibi kütle de korunan bir büyüklüktür ve bir denetim hacmi için kütlenin korunumu ilkesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\left[\begin{array}{l} \text{denetim hacminde } t \text{ anında} \\ \text{var olan kütlenin} \\ \text{zamana bağlı değişimi} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} t \text{ anında giriş bölgelerinden} \\ \text{sisteme giren} \\ \text{kütlenin debisi} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} t \text{ anında çıkış bölgelerinden} \\ \text{sistemden ayrılan} \\ \text{kütlenin debisi} \end{array} \right]$$

ya da

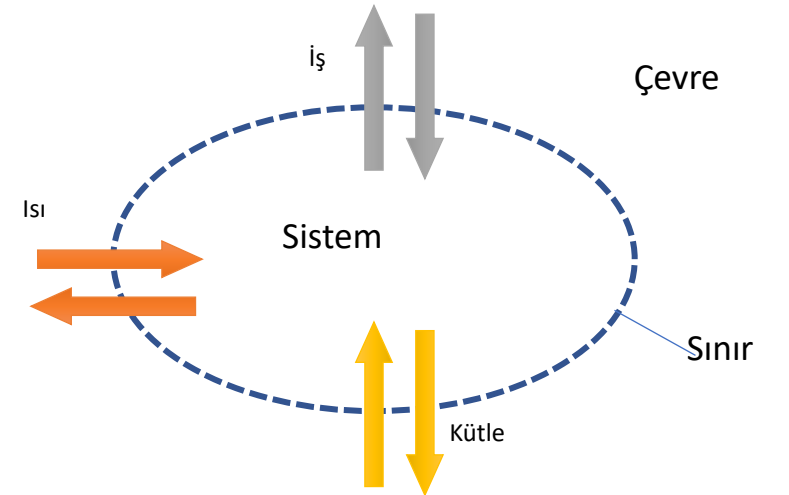
$$\frac{dm_{CV}}{dt} = \dot{m}_i - \dot{m}_e$$



- Kütlenin Korunumu: Birçok mühendislik uygulamasında sistemdeki özelliklerin tamamının zaman geçtikçe aynı kaldığı, yani sistemin kararlı durumda olduğu kabulü gerçekleştirilir. Bu durumda sistem içerisinde yer alan kütle de bir özellik olduğu için, denetim hacmi içerisindeki kütlenin zamana bağlı değişimini

ifade eden $\frac{dm_{CV}}{dt}$ terimi sıfıra eşit olur ve kütlenin korunumu denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\dot{m}_i = \dot{m}_e$$



- Enerjinin Korunumu: Kapalı sistemlerde olduğu gibi açık sistemlerde de enerjinin korunumu ilkesi geçerlidir. Açık sistemler ele alınırken enerji korunumu ilkesinin ifade edilmesinde kapalı sistemlere kıyasla iki temel fark bulunmaktadır:
 - Enerji terimleri, enerjinin zamana bağlı değişimi olarak değiştirilir.
 - Sisteme kütle yoluyla taşınan enerji miktarı da eşitliğe eklenir.

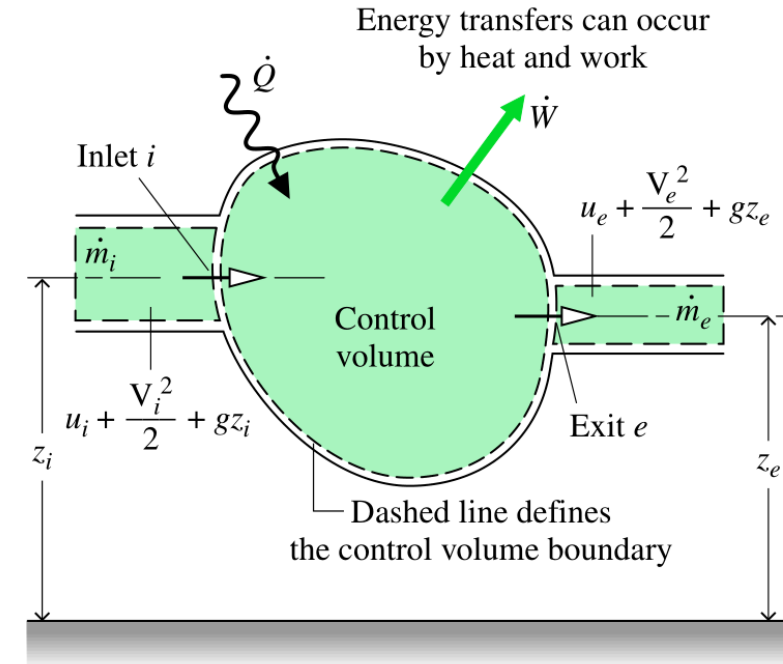
$$\left[\begin{array}{l} \text{sistem içerisinde depolanmakta} \\ \text{olan enerjinin belirli bir } t \text{ anında} \\ \text{zamana bağlı değişimi} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{sistem içerisine belirli bir} \\ t \text{ anında sınırlardan} \\ \text{ısı transferi yoluyla} \\ \text{aktarılan enerji miktarının} \\ \text{zamana bağlı değişimi} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{sistem dışına belirli bir} \\ t \text{ anında sınırlardan} \\ \text{iş yoluyla} \\ \text{aktarılan enerji miktarının} \\ \text{zamana bağlı değişimi} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{denetim hacmine} \\ \text{kütle transferi yoluyla} \\ \text{aktarılan enerjinin} \\ \text{zamanla net değişim miktarı} \end{array} \right]$$

Açık Sistemler İçin Termodinamiğin Birinci Yasası

- Örnek olarak şekildeki sistemi aldığımızda, termodinamiğin birinci yasası aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\frac{dE_{CV}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_i \left(u_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{m}_e \left(u_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right)$$

- Ancak bu eşitlik yazılırken unutulmaması gereken husus, kütle giriş-çıkışının gerçekleşmesi için de bir iş yapılması gerektiğidir.

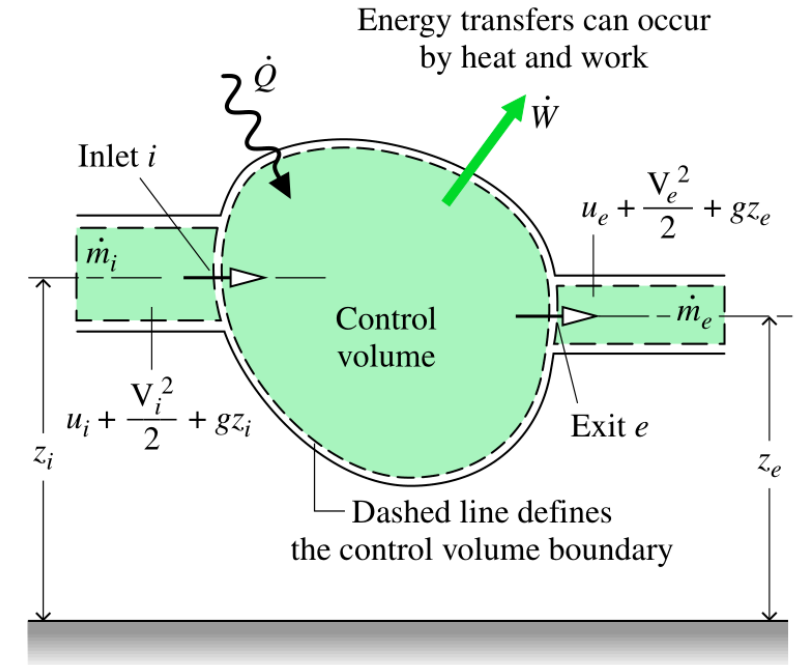


Açık Sistemler İçin Termodinamiğin Birinci Yasası

- Sisteme kütle transferinin gerçekleşmesi esnasında yapılan iş $(p_i A_i)V_i$ ve benzer şekilde sistemden kütle transferi gerçekleşmesi esnasında yapılan iş $(p_e A_e)V_e$ şeklinde tanımlanır ve tanımlamada yer alan p giriş veya çıkış basıncını, A giriş veya çıkış alanını ve V giriş veya çıkış hacmini ifade eder.
- AV ifadesi $\dot{m}v$ olarak ifade edilebileceğinden, enerji denklemindeki toplam iş aşağıdaki şekilde bileşenlerine ayrılabilir:

$$\dot{W} = \dot{W}_{CV} + \dot{m}_e(p_e v_e) - \dot{m}_i(p_i v_i)$$

- Denklemlerde yer alan v özgül hacmi sembolize etmektedir.



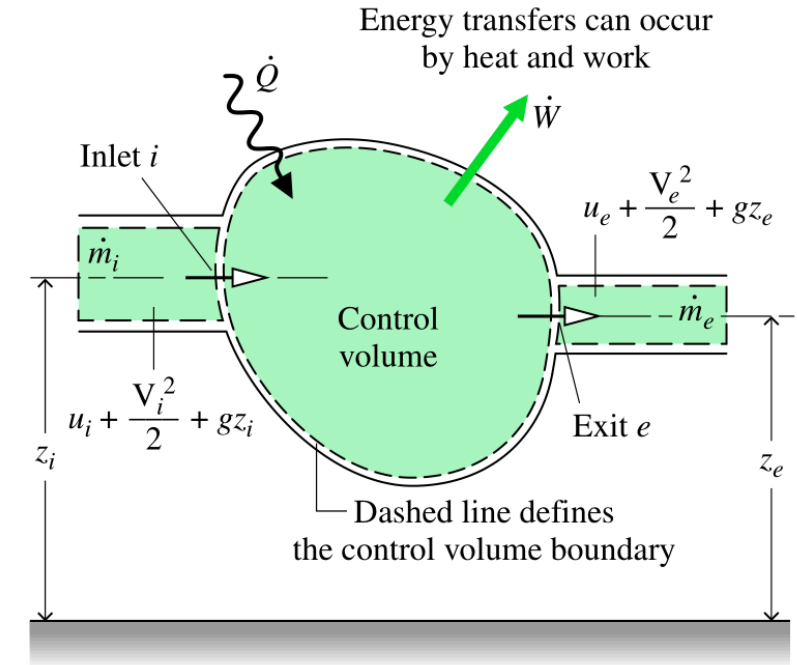
Açık Sistemler İçin Termodinamiğin Birinci Yasası

- Söz konusu terimleri denkleme eklediğimiz zaman ortaya aşağıdaki eşitlik ortaya çıkmaktadır:

$$\frac{dE_{CV}}{dt} = \dot{Q}_{CV} - \dot{W}_{CV} + \dot{m}_i \left(u_i + p_i v_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{m}_e \left(u_e + p_e v_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right)$$

- Termodinamik uygulamalarında sıklıkla karşımıza çıkan $u + pv$ terimi spesifik entalpi olarak adlandırılmakta olup h harfi ile gösterilmektedir. Söz konusu terimlerin bir araya getirilmesi neticesinde aşağıdaki bağıntı ortaya çıkmaktadır:

$$\frac{dE_{CV}}{dt} = \dot{Q}_{CV} - \dot{W}_{CV} + \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right)$$



Açık Sistemler İçin Termodinamiğin Birinci Yasası

- Sonuç itibariyle termodinamiğin birinci yasası, farklı sayılarda giriş ve çıkış bölgeleri için de genişletilerek en genel haliyle aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

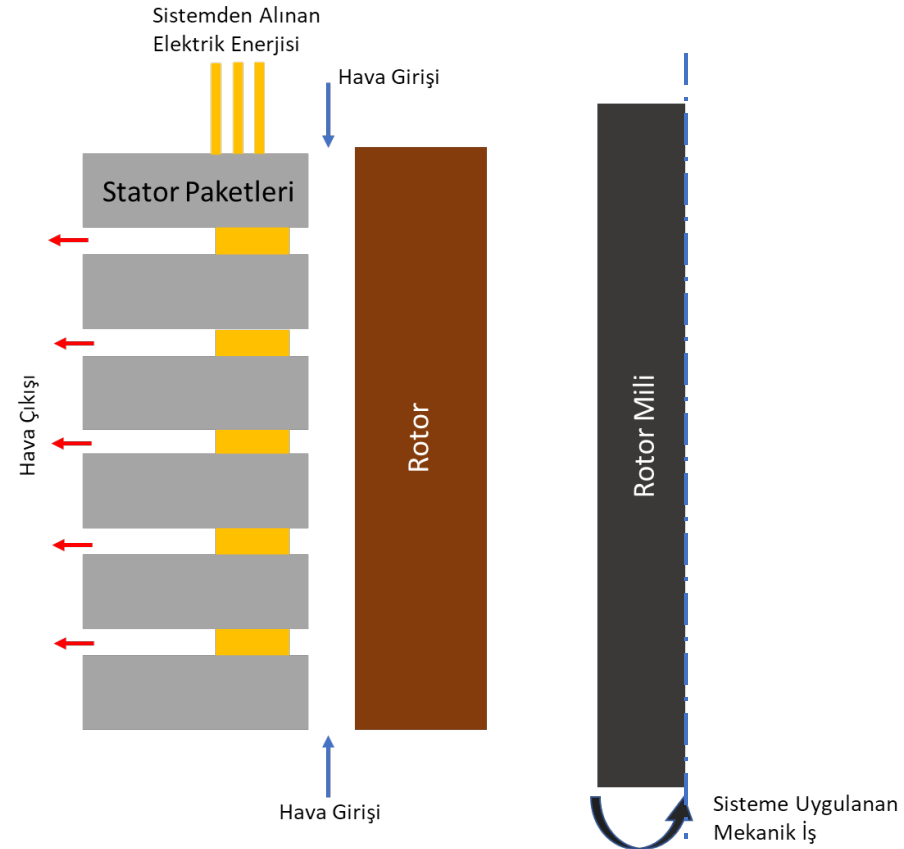
$$\frac{dE_{CV}}{dt} = \dot{Q}_{CV} - \dot{W}_{CV} + \sum_i \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) - \sum_e \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right)$$

- Tek giriş ve tek çıkışlı kararlı sistemlerde, herhangi bir özelliğin zamana bağlı değişimi 0 olacağından ve kütlenin korunumu gereği $\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$ olacağı için, enerji dengesi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$0 = \dot{Q}_{CV} - \dot{W}_{CV} + \dot{m} \left((h_i - h_e) + \left(\frac{V_i^2 - V_e^2}{2} \right) + g(z_i - z_e) \right)$$

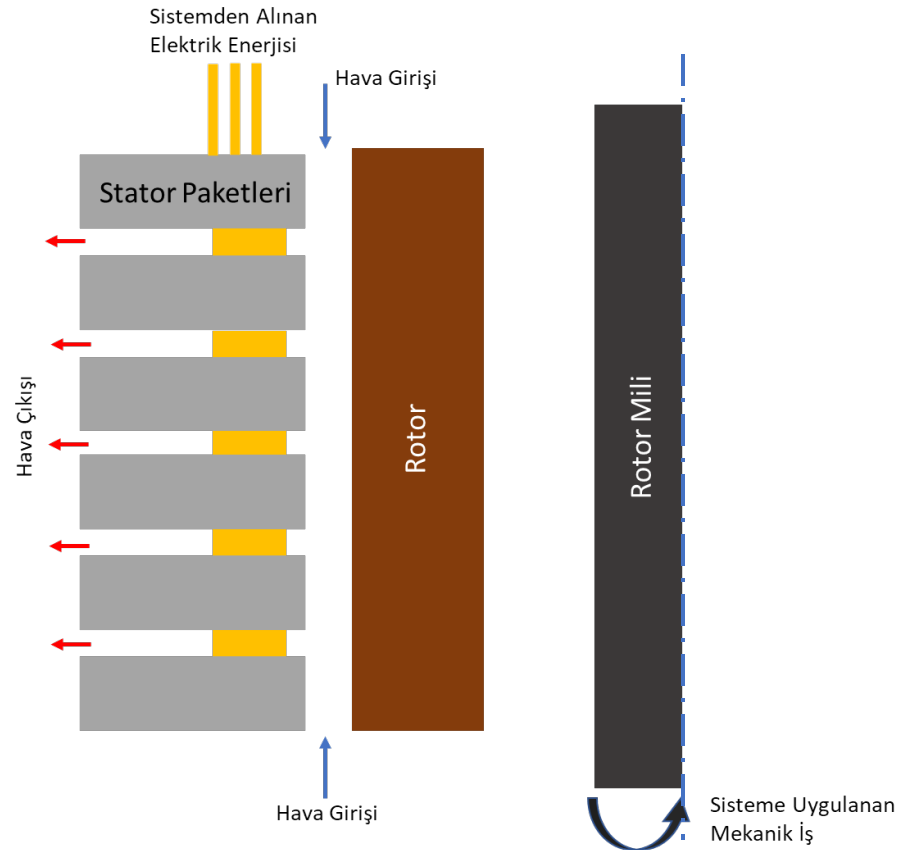
Elektrik Generatörünün Termodinamik Modellemesi

- EGEN Projesi kapsamında incelenmekte olan Westinghouse marka hidrogeneratör, aşağıda şematik olarak gösterilmiştir:



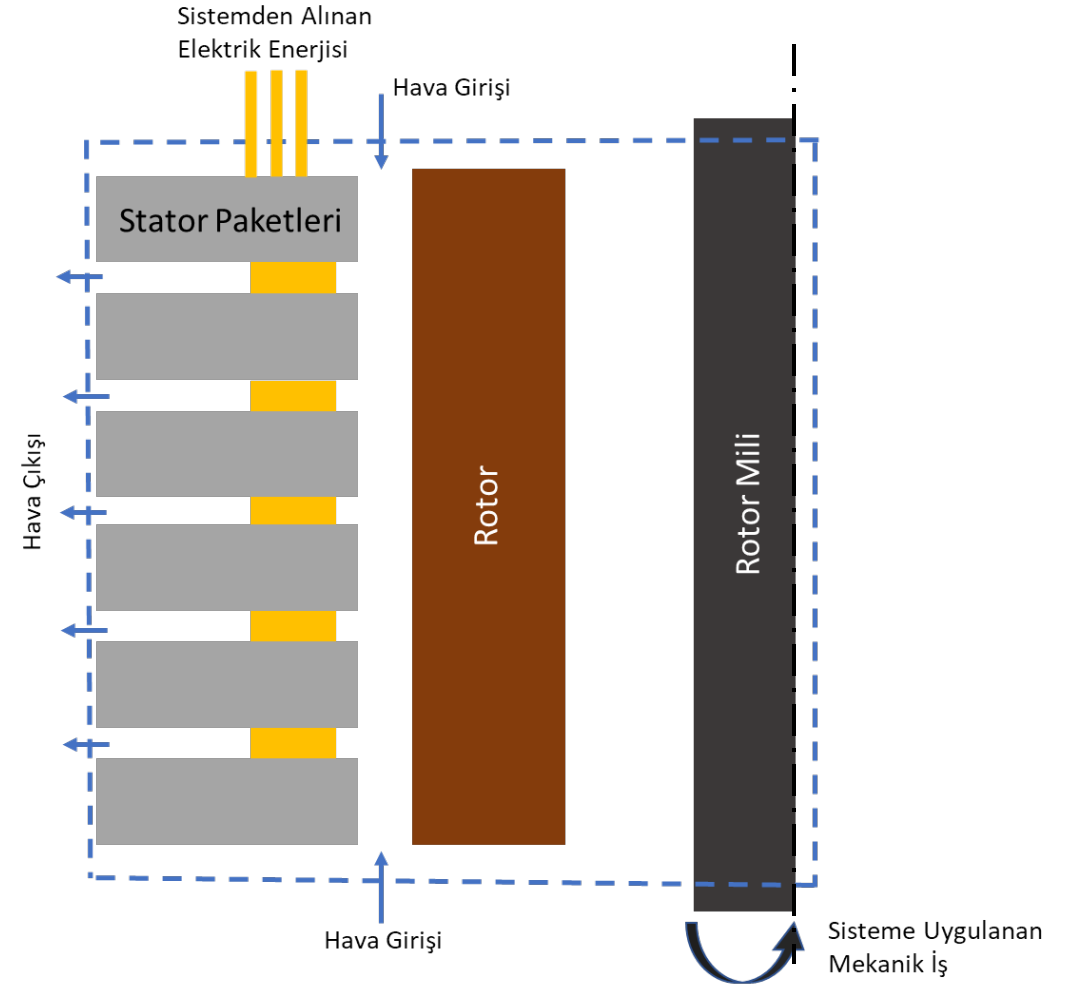
Elektrik Generatörünün Termodinamik Modellemesi

- Söz konusu sistemin analizinde ilk önemli adım, incelenecek olan denetim hacminin belirlenmesidir. İlerleyen slaytlarda, generatör için farklı denetim hacimleri tanımlanarak termodinamiğin birinci yasası uygulanacaktır.



Elektrik Generatörünün Termodinamik Modellemesi

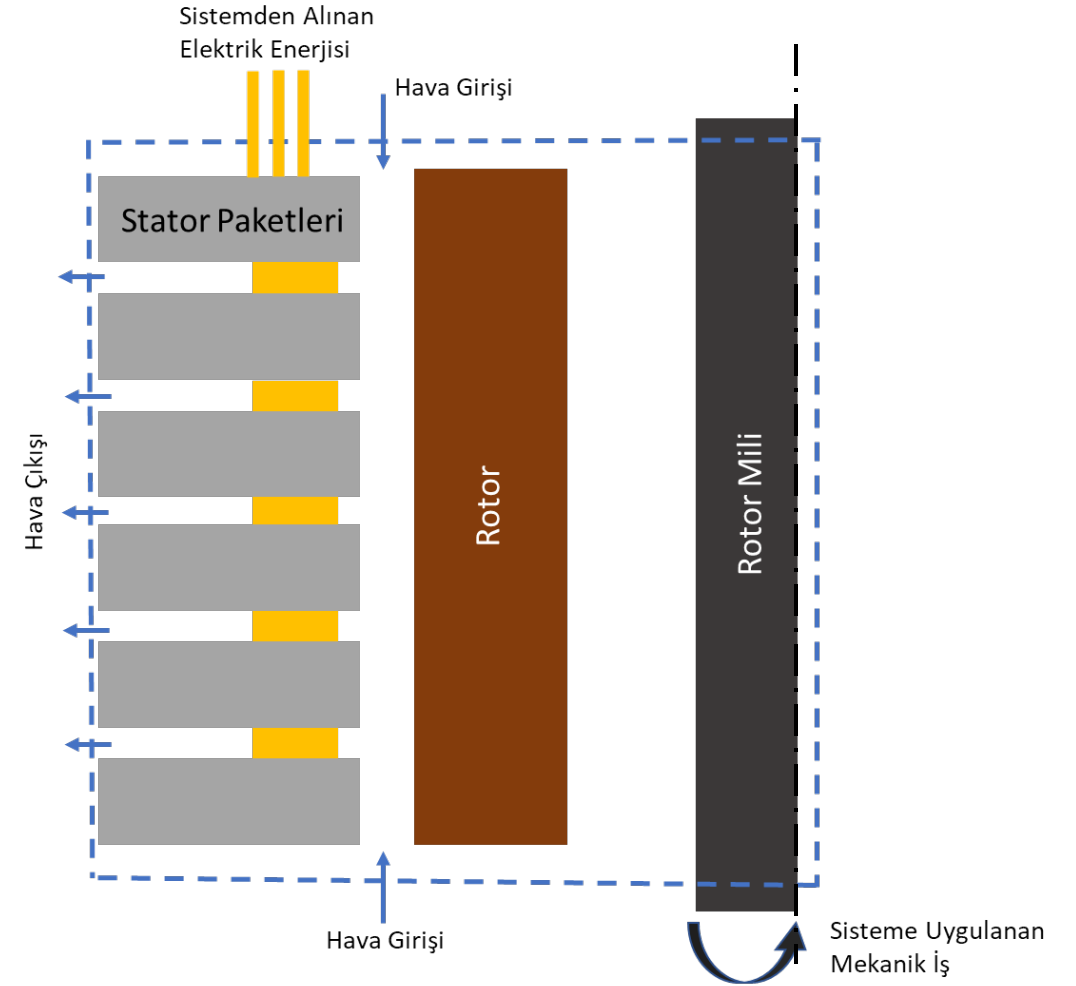
- İlk analizde sistem bir bütün olarak ele alınmakta ve denetim hacmi generatörün tamamını kapsayacak şekilde tayin edilmektedir.
- Generatöre iki noktadan hava girişi olup, soğutma kanalı sayısı kadar da hava çıkışı bulunmaktadır.
- Sisteme türbin aracılığıyla uygulanan bir mekanik iş girdisi ve sistemden alınan elektrik enerjisi bulunmaktadır.
- Sistemin çevre ile ısı alış-verişi yoktur.
- Sistem kararlı durumdadır
- Sistemdeki kinetik enerji ve potansiyel enerji değişimi göz ardı edilmiştir.



Elektrik Generatörünün Termodinamik Modellemesi

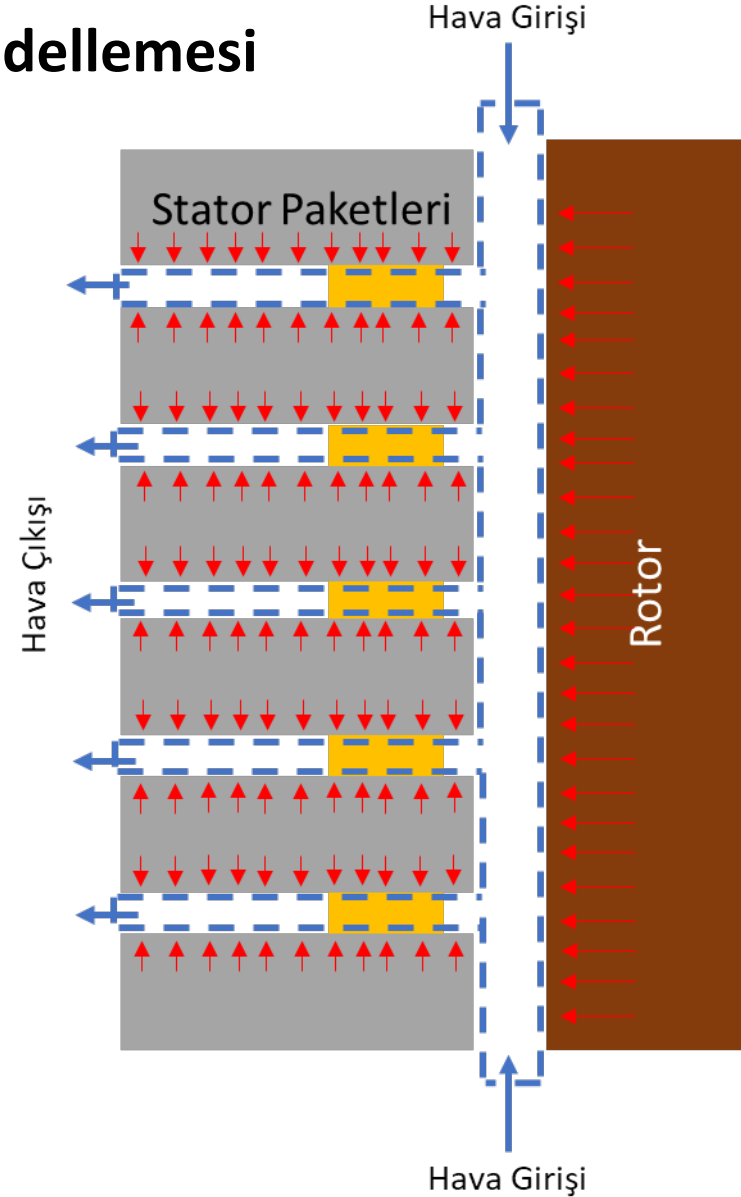
- Önceki slaytta sıralanmış olan kabuller dikkate alınarak termodinamiğin birinci yasası aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$0 = \dot{W}_{Mech} - \dot{W}_{Elect} + \sum_i \dot{m}_i h_i - \sum_e \dot{m}_e h_e$$



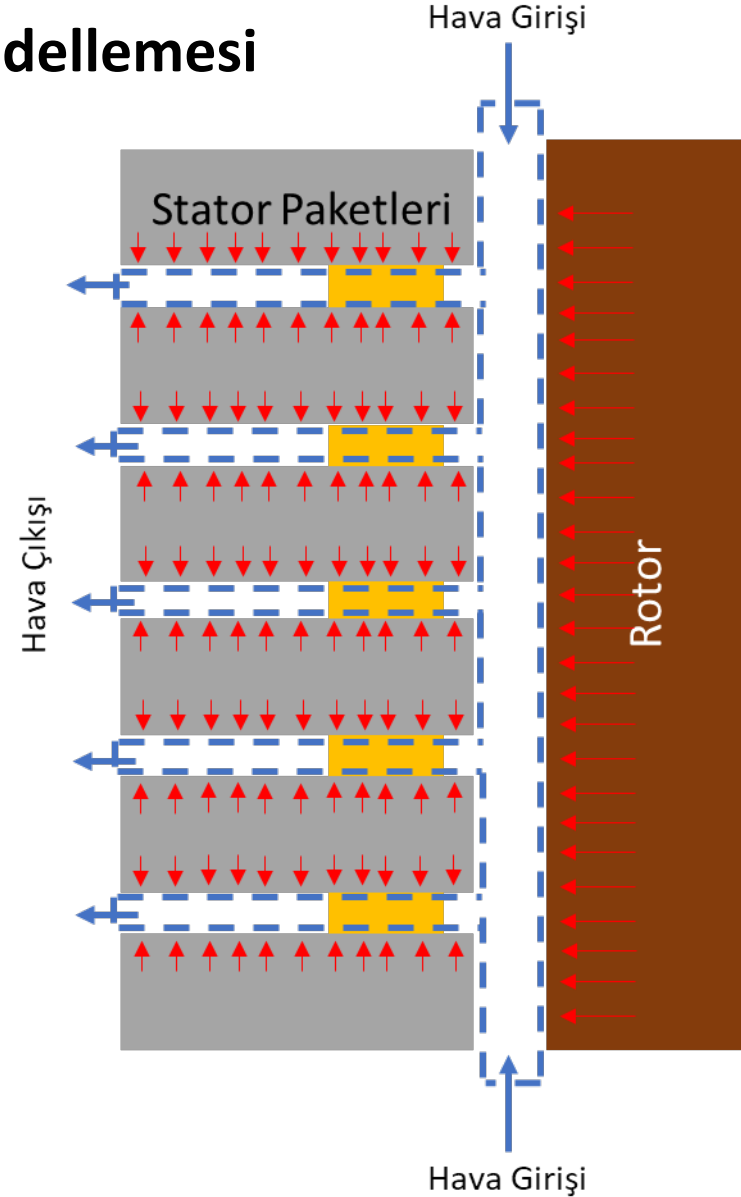
Elektrik Generatörünün Termodinamik Modellemesi

- İkinci analizde sistem yalnızca generatör içerisinde akmakta olan hava bölgesi olarak alınmaktadır.
- Generatöre iki noktadan hava girişi olup, soğutma kanalı sayısı kadar da hava çıkışı bulunmaktadır.
- Sistem kararlı durumdadır
- Sistemdeki kinetik enerji ve potansiyel enerji değişimi göz ardı edilmiştir.
- Sürtünme kayıpları ihmal edilmiştir.



Elektrik Generatörünün Termodinamik Modellemesi

- İlk analizden farklı olarak, seçilen denetim hacmine herhangi bir mekanik iş aktarımı veya kontrol hacminden dışarıya bir elektriksel enerji aktarımı bulunmamaktadır.
- Diğer bir fark ise, elektromanyetik kayıplardan kaynaklanan ısı üretimi, ısı üreten parçalar artık denetim hacminin dışında kaldığından ve aralarındaki sınır bölgelerinden ısı transferi gerçekleştiğinden enerji denklemi içerisine eklenmesi gerekmektedir.

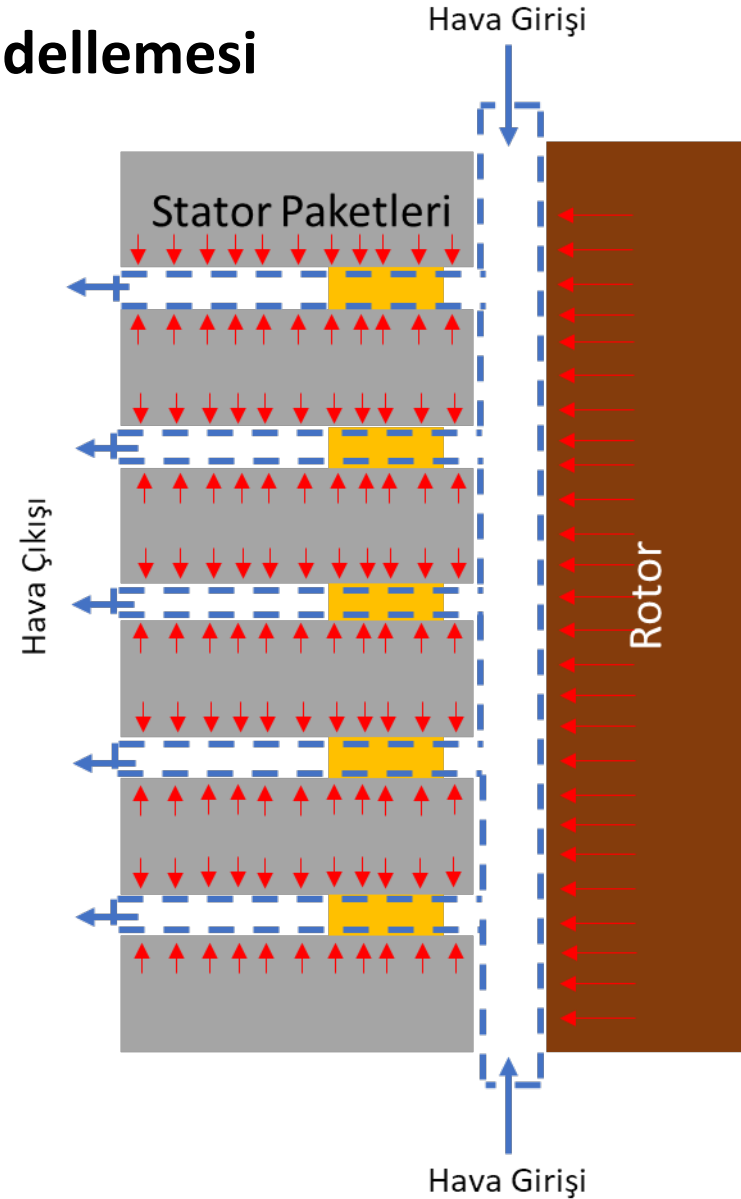


Elektrik Generatörünün Termodinamik Modellemesi

- Tüm bu değerlendirmeler neticesinde, seçilen denetim hacmi için termodinamiğin birinci yasası aşağıdaki gibi yazılabilir:

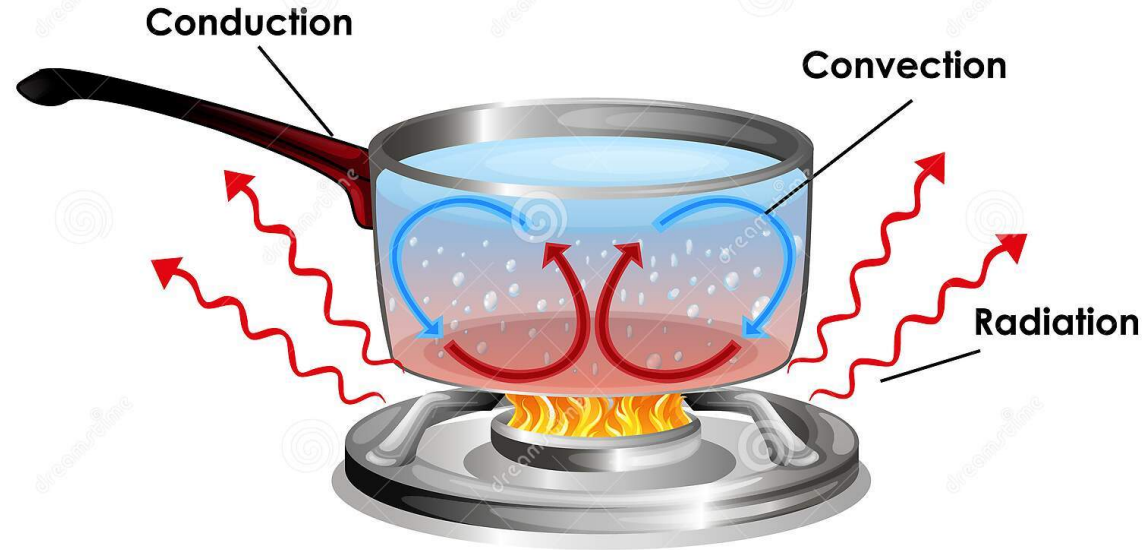
$$0 = \dot{Q} + \sum_i \dot{m}_i h_i - \sum_e \dot{m}_e h_e$$

- Her iki model de dikkate alındığında, generatöre verilen mekanik enerji ile generatörden alınan elektrik enerjisi arasındaki farkın, elektromanyetik kayıplara (ve bu kayıplar sonucu üretilen ısı miktarına) eşit olduğu görülmektedir.



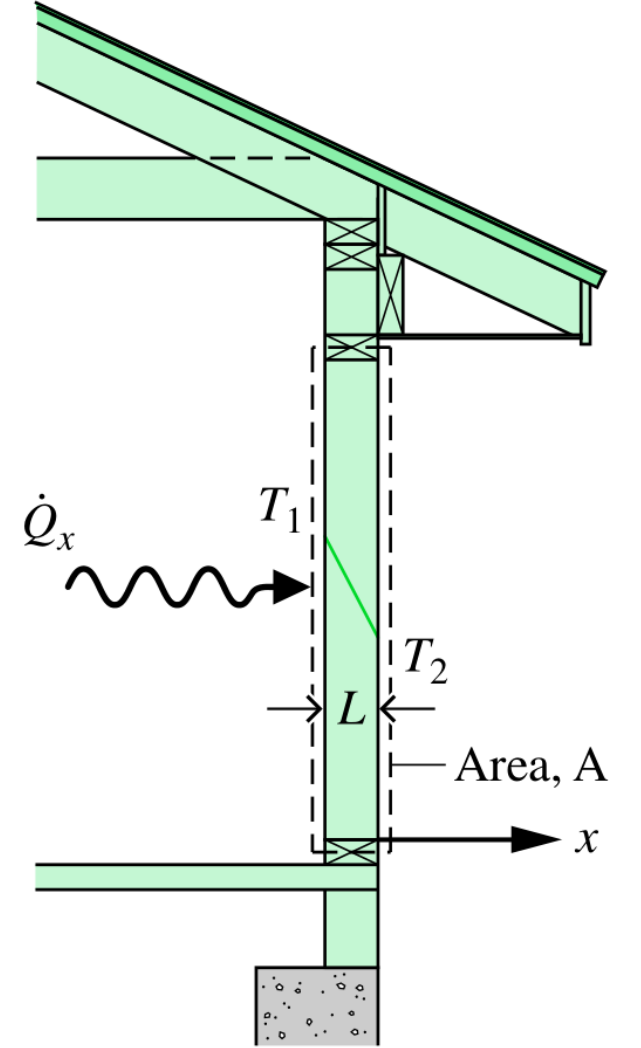
Isı Transferi Modları

- Isı transferi farklı modlarda gerçekleşebilmektedir. Doğada temel olarak iki ısı transferi mekanizması bulunmaktadır. Bu mekanizmalar iletim ve ışınlama yoluyla ısı transferidir. Ayrıca iletim ile ısı transferinin özel bir biçimi olan taşınım da doğada sıklıkla gözlemlenmektedir.



Isı Transferi Modları - İletim

- İletim: İletim yoluyla enerji transferi katılarda, sıvılarda ve gazlarda gerçekleşebilir. İletim, bir maddenin daha enerjik parçacıklarından, parçacıklar arasındaki etkileşimler nedeniyle daha az enerjili olan bitişik parçacıklara enerji aktarımı olarak tanımlanabilir.
- İletim yoluyla enerji transferinin zamana bağlı değişimi, Fourier yasasıyla makroskopik ölçekte hesaplanabilmektedir.

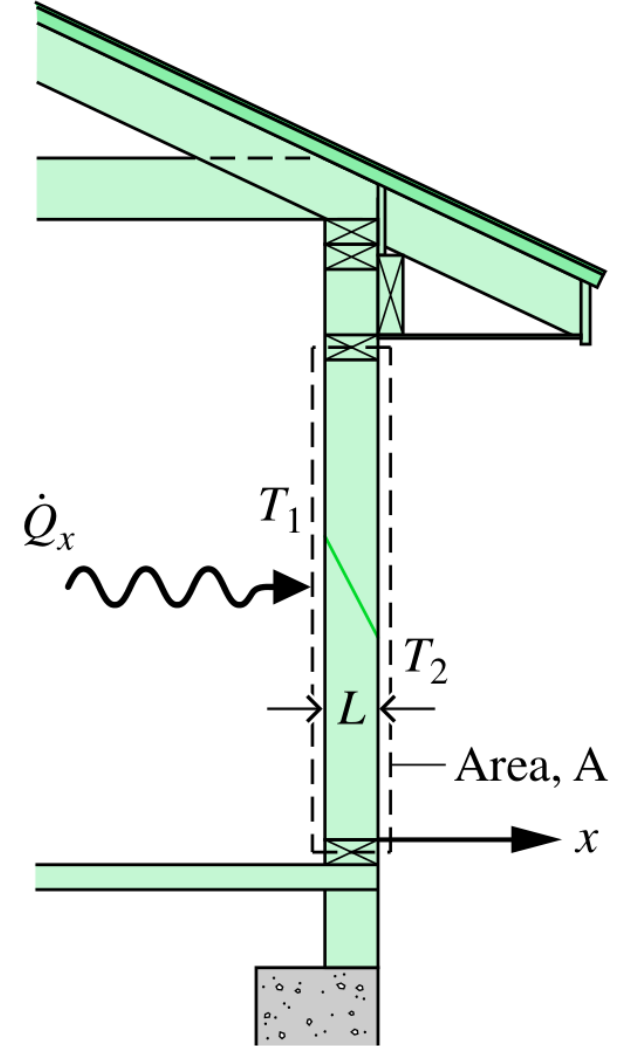


Isı Transferi Modları - İletim

- Temel olarak şekildeki örneği ele alalım:

Örnekte duvar üzerinde sıcaklık, x eksenindeki konuma bağlı olarak değişmektedir. Duvarın kalınlığı L olup kesit alanı sabit ve A değerine eşittir.

Fourier yasasına göre, x yönüne dik herhangi bir düzlem boyunca ısı transferinin zamana bağlı değişimi (\dot{Q}_x), duvar alanı (A) ile ve x yönündeki sıcaklık gradyanı (dT/dx) ile orantılıdır.



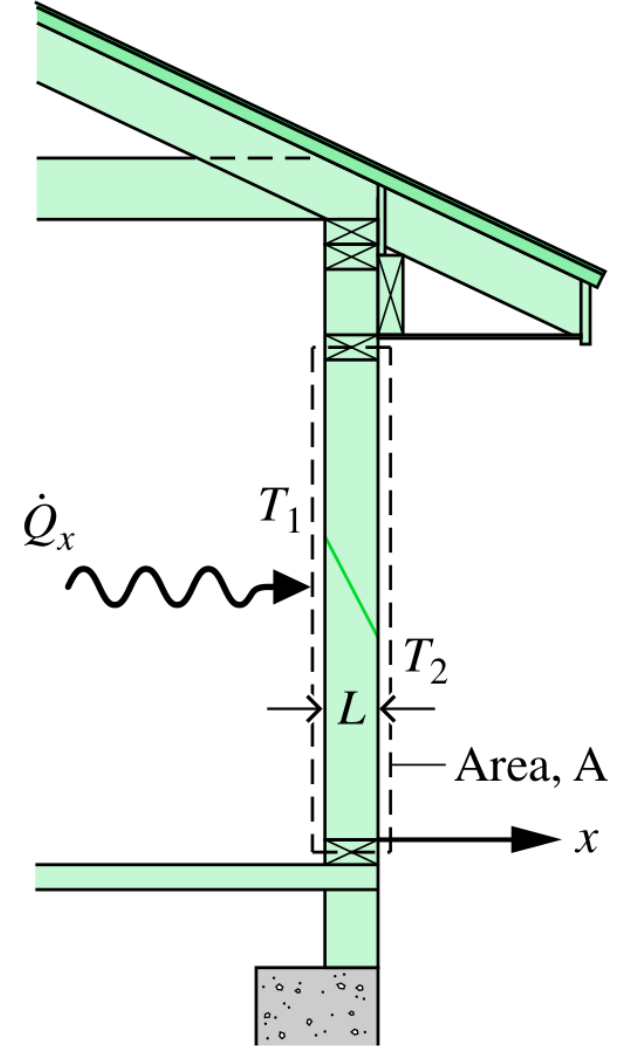
Isı Transferi Modları - İletim

- Fourier yasası matematiksel olarak şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\dot{Q}_x = -kA \frac{dT}{dx}$$

- Denklemden yer alan k ısı iletkenlik katsayısı olup yeğinsel bir malzeme özelliğidir.
- Örnekte yer alan duvarda x sıcaklık değışiminin lineer olduğı kabul edilirse, Fourier yasası aşğıdaki şekilde de uygulanabilir:

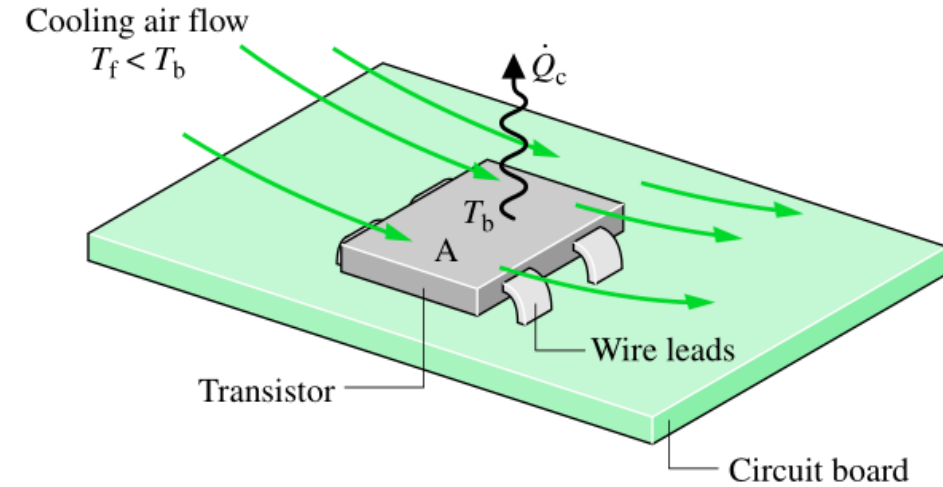
$$\dot{Q}_x = -kA \frac{T_2 - T_1}{L}$$



Isı Transferi Modları - Taşınım

- Daha önce de bahsedildiği üzere taşınım, ayrı bir ısı transferi modu olmayıp, hareket halindeki bir akışkanın gerçekleştirdiği iletimin akışkan kütlesinin hareketi ile birlikte değerlendirilmesi neticesinde ortaya çıkan bir konsepttir
- Şekildeki örnekte ısı, havanın iletimi ve hava kütlesinin hareketinin birleşik etkisi ile ok ile gösterilmiş olan yönde taşınmaktadır. Yüzeyden havaya taşınım yolu ile gerçekleşen ısı transferinin zamana bağlı değişimi aşağıdaki empirik bağıntı ile hesaplanabilmektedir.

$$\dot{Q}_c = hA(T_b - T_f)$$



Isı Transferi Modları - Işınım

- Termal ışıınım, bütün maddeler tarafından içerisindeki atom ve moleküllerin elektronik kompozisyonundaki değışikliklerin sonucu olarak yayılmakta ve elektromanyetik dalgalar (veya fotonlar) aracılığıyla taşınmaktadır.
- İletimden farklı olarak termal ışıının gerçekleşmesi herhangi maddesel ortama ihtiyaç yoktur ve vakum koşullarında dahi gerçekleşebilir.



Isı Transferi Modları - Işınım

- Katı yüzeyler, gazlar ve sıvıların tamamı termal ışıınımı yayar, emer ve iletir. Bir yüzeyden yayılan termal ışıının miktarı (\dot{Q}_e) Stefan-Boltzmann yasası ile makroskobik ölçekte hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_e = \varepsilon \sigma A (T_b^4 - T_{surr}^4)$$

veya

$$\dot{Q}_e = h_r A (T_b - T_{surr})$$

($h_r \equiv \varepsilon \sigma (T_b + T_{surr})(T_b^2 + T_{surr}^2)$ olmak üzere)

- Eşitlikte yer alan T_b ışıının gerçekleştiği yüzey sıcaklığını, T_{surr} çevre sıcaklığını, ε yüzeyden ışıının ne kadar efektif şekilde yapıldığını ifade eden emissivity değerini, σ ise değeri 5.67×10^{-8} W/m²K⁴ olan Stefan-Boltzmann sabitini sembolize etmektedir.

Isıl Direnç

- Isının difüzyonu ile elektrik yükünün taşınımı arasında bir analogi kurmak mümkündür. Bir elektrik direnci elektriğin iletimi ile ilişkilendirildiği gibi, ısı iletimi ile bir ısı direnç de ilişkilendirilebilir. Bu noktada iletim için ısı direnç tanımı ile ohm yasası aşağıda bir arada sunulmuştur.

$$R_{t,cond} \equiv \frac{T_1 - T_2}{\dot{Q}_x} = \frac{L}{kA}$$

$$R_e \equiv \frac{E_1 - E_2}{I} = \frac{L}{\sigma A}$$

Isıl Direnç

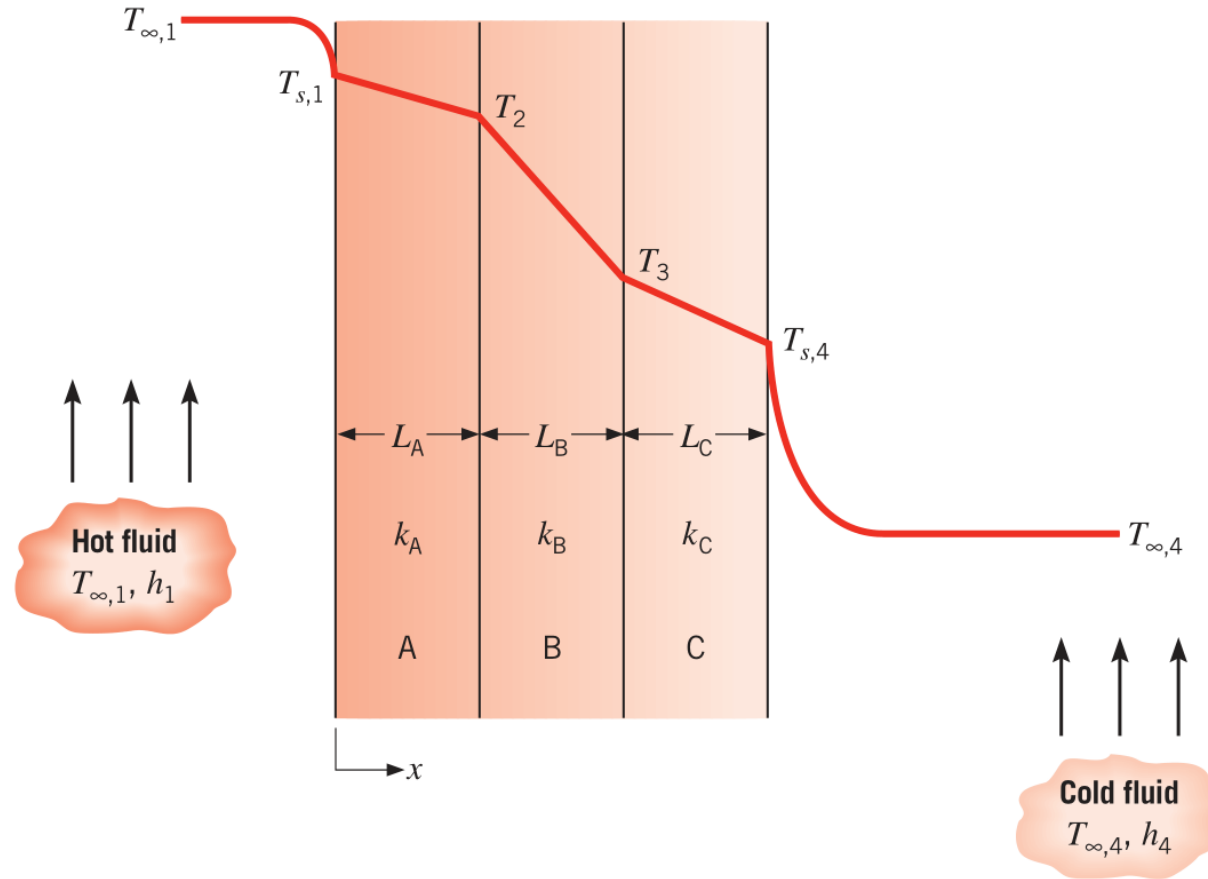
- İletimde olduğu gibi taşınım ve ışıınım için de ısıl dirençlerin tanımlanması mümkündür.

$$\dot{Q}_c = hA(T_b - T_f) \quad \longrightarrow \quad R_{t,conv} \equiv \frac{T_b - T_f}{\dot{Q}_c} = \frac{1}{hA}$$

$$\dot{Q}_e = h_r A (T_b - T_{surr}) \quad \longrightarrow \quad R_{t,rad} \equiv \frac{T_b - T_{surr}}{\dot{Q}_e} = \frac{1}{h_r A}$$

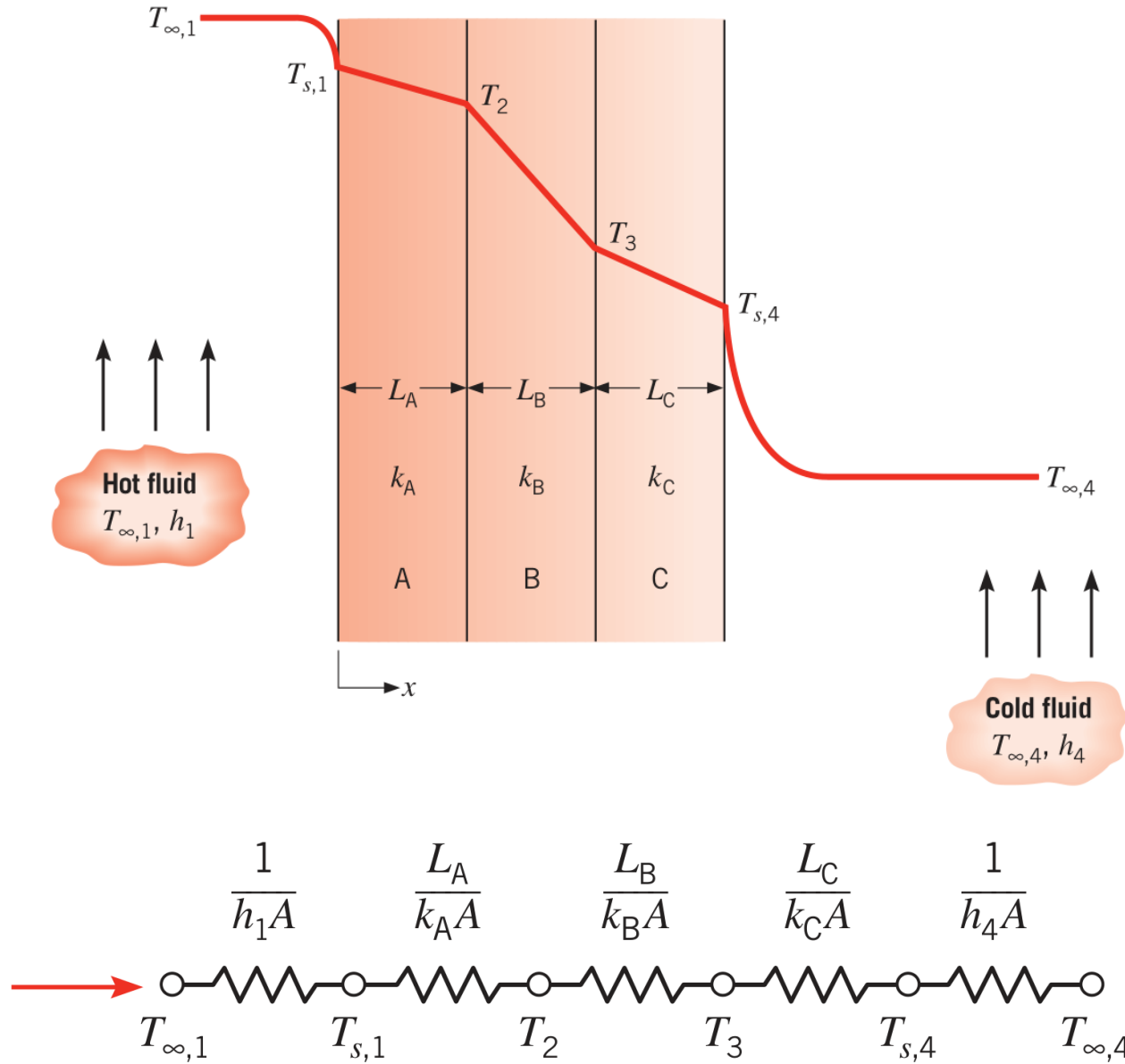
Isıl Direnç

- Örnek 1:



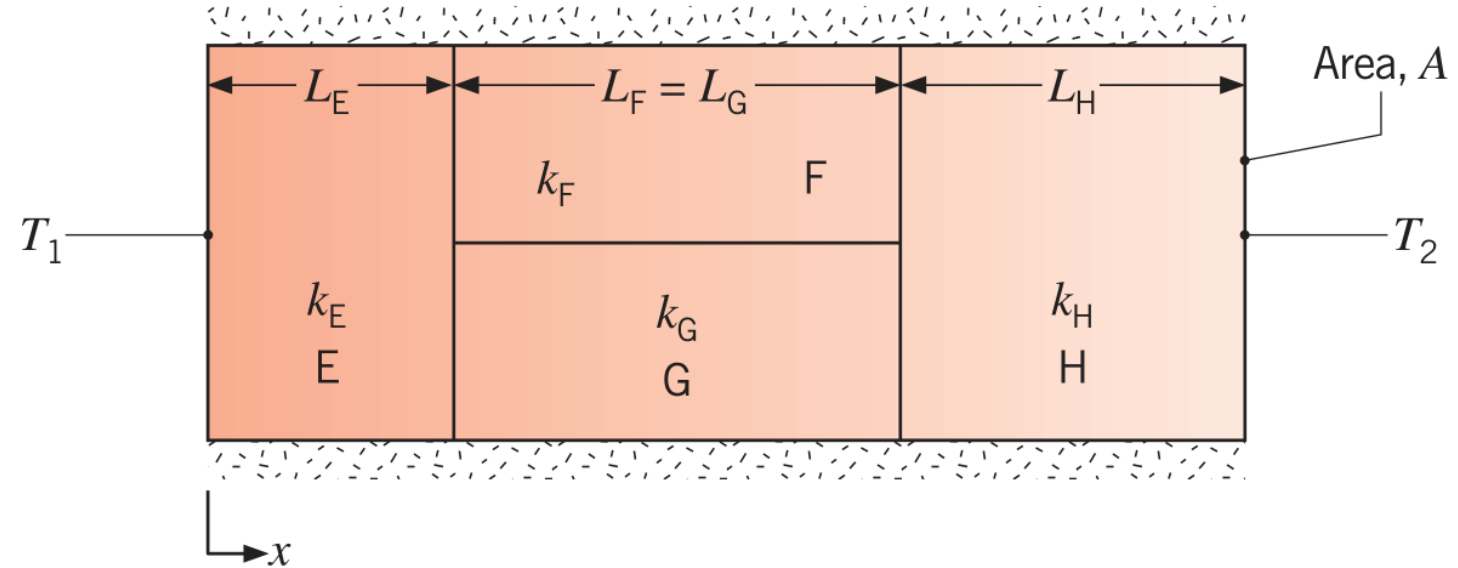
Isıl Direnç

- Örnek 1:



Isıl Direnç

- Örnek 2:



Isıl Direnç

- Örnek 2:

