

# **1. HAFTA**

## **Giriş ve Temel Kavramlar**

# TERMODİNAMİK VE ISI TRANSFERİ

- **Isı:** Sıcaklık farkının bir sonucu olarak bir sistemden diğerine transfer edilebilen bir enerji türüdür.
- **Termodinamik:** Bir sistem bir denge durumundan diğerine geçerken transfer edilen ısı **miktarı** ile ilgilidir.
- **Isı Transferi:** Enerji transfer hızlarının bulunmasıyla ilgilenen bilim dalıdır.

Enerji transferi, daima yüksek sıcaklıklı ortamdan daha düşük sıcaklıklı ortama olur.

İki ortamın sıcaklıkları aynı sıcaklığa erişince enerji transferi sona erer.

Isı transferi üç temel mekanizma ile olur:

**İletim, taşınım ve ışınım**

# Tarihsel Arka Plan

**Kinetik Teorisi:** Molekülleri, hareketleri ve bu yüzden kinetik enerjiye sahip kürecikler olarak ele alınır.

**Isı:** Atom ve moleküllerin gelişigüzel hareketleriyle ilişkilendirilen bir enerji türü olarak tanımlandı.

**Kalorik Teorisi:** Isının **kalorik** denen akışkan benzeri, kütesiz, renksiz, kokusuz ve tatsız, bir cisimden diğerine akabilen bir madde olduğunu öne sürer.

19.yy' ın ortalarında (?)

En sonunda İngiliz James P.Joule'un sonuçları 1843'te yayınlanan dikkatli deneyleri , kuşku duyanları ısının bir madde olmadığına ikna etti ve böylelikle kalorik teorisini geçersiz kıldı.

# Mühendislik Isı Transferi Mühendislik Isı Transferi

Isı değiştiricileri, kazanlar, yoğuşturucular, radyatörler, ısıtıcılar, ocaklar, soğutucular ve güneş kollektörleri gibi ısı transfer cihazları, öncelikle ısı transfer çözümlenmesi esas alınarak tasarlanır.

Uygulamada karşılaşılan ısı transfer problemleri iki grupta incelenebilir:

(1) **Isı transfer hesaplama** ve (2) **Boyutlandırma**

**Isı Transfer hesaplama problemleri**, belirli bir sıcaklık farkı için, halihazırda var olan bir sistemin ısı transfer hızının belirlenmesiyle ilgilendir.

**Boyutlandırma problemi** ise, tanımlı bir sıcaklık farkı durumunda, belirli bir hızda ısı transfer edilmesi için bir sistemin boyutunun belirlenmesi ile ilgilendir.

Bir mühendislik düzeneği veya işlemleri hem **deneysel** (deney ve ölçüm yapma) hem de **analitik** olarak (çözümleme veya hesaplamayla) araştırılabilir.

**Deneysel yaklaşım**, gerçek fiziksel sistemin incelenmesi avantajına sahiptir ve istenen nicelik, deneysel hata sınırları içerisinde ölçme yoluyla belirlenir. Bununla birlikte, bu yaklaşım pahalı, zaman alıcı ve çoğunlukla pratik değildir.

**Analitik yaklaşım** (sayısal yaklaşım dahil) hızlı ve pahalı olmamak avantajına sahiptir, fakat elde edilen sonuçlar çözümlemede yapılan kabullerin hassasiyetine, yaklaşımlara ve idealleştirmelere bağlıdır.

# Isı ve Enerjinin Diğer Türleri

- ✓ Enerji;
  - ✓ Isıl
  - ✓ Mekanik
  - ✓ Kinetik
  - ✓ Potansiyel
  - ✓ Elektrik
  - ✓ Manyetik
  - ✓ Kimyasal
- Nükleer enerji gibi birçok biçimde bulunabilir ve bunların toplamı bir sistemin  $E$  (veya birim kütle esaslı olarak  $e$ ) ***toplam enerjisini*** oluşturur.
  - Enerjinin bütün mikroskobik biçimlerinin toplamına bir sistemin ***iç enerjisi*** denir.

- **İç enerji:** Moleküllerin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamı olarak görülebilir.
- **Duyulur ısı:** Bir sistemin iç enerjisinin moleküllerin kinetik enerjisiyle ilgili kısmıdır.
- **Gizli ısı:** Bir sistemin faz durumuyla ilgili iç enerjisine denir.
- **Kimyasal (Bağ) enerjisi:** Bir moleküldeki atomik bağlarla ilgili iç enerji olarak adlandırılır.
- **Nükleer enerji:** Atomun kendi çekirdeğinin içindeki bağlarla ilgili iç enerji olarak adlandırılır.

## Sıcaklık ve Isı (Termal Enerji)

**Sıcaklık**, bir sistemin ölçülebilir termal özelliğidir. Kelvin, Celsius veya Fahrenheit cinsinden ölçülür. Sıcaklık ölçümü için SI birimi Kelvin'dir.

**Isı (Termal Enerji)** bir enerji şeklidir. Joule cinsinden ölçülür. Isıl enerji, belirli bir sistem için dahili bir enerjidir. Termal enerji, bir sistemin sıcaklığının sebebidir. Mutlak sıfırın üzerinde bir sıcaklığa sahip olan her sistem pozitif bir termal enerjiye sahiptir. Termal enerji, sistemin moleküllerinin, atomlarının ve elektronlarının rastgele hareketleri sonucu ortaya çıkar.

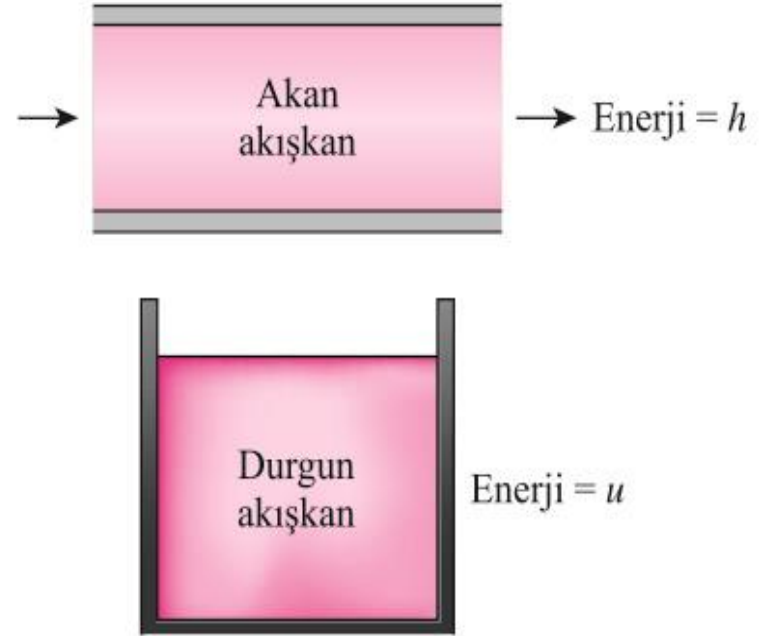
### Sıcaklık ve Termal Enerji arasındaki fark nedir?

Isı enerjisi doğrudan ölçülebilen bir miktar değil, sıcaklık ölçülebilir bir miktardır.

- Nesnenin sıcaklığı, sıcaklığı ölçmek için kullanılan birim sisteme bağlı olarak negatif değerler alabilir, ancak bir sistemin ısı enerjisi negatif olamaz.
- Sıcaklık Kelvin cinsinden ölçülürken, termal enerji Joule cinsinden ölçülür.
- Bir cisim, sistemin sıcaklığını değiştirmeden durum geçişinde ısı enerjisi kaybedebilir veya kazanabilir.

# İç Enerji ve Entalpi

- Akışkan akışı içeren sistemlerin çözümlenmesinde, sık sık  $u$  ve  $Pv$  özelliklerinin kombinasyonu ile karşılaşılır.
- Basitleştirme ve rahatlık için bu kombinasyon,  $h$  **entalpi** olarak tanımlanır yani  $h = u + Pv$  'dir.
- $Pv$  akışkanın **akış enerjisini** (veya akış işi) ki akışkanı itmek ve akışı sürdürmek için gerekli olan enerjidir.



## ŞEKİL 1-8

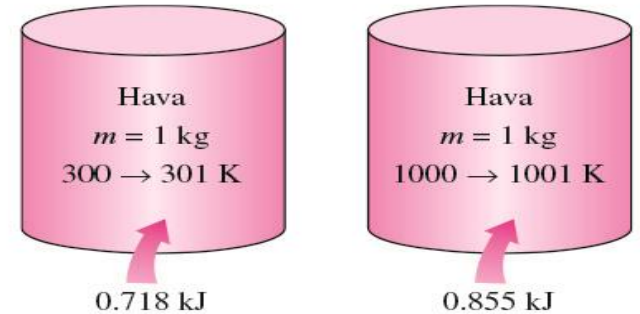
*İç enerji  $u$ , akmayan akışkanın mikroskopik enerjisini; entalpi  $h$  akan akışkanın mikroskopik enerjisini göstermektedir.*

# Gazların, Sıvıların ve Katıların Özgül Isıları

- **Özgül ısı:** Bir maddenin birim kütlesinin sıcaklığını bir derece arttırmak için gerekli olan enerji olarak tanımlanır.
- **Sabit hacimde özgül ısı**  $c_v$  ve **sabit basınçta özgül ısı**  $c_p$  olmak üzere iki türlü özgül ısı söz konusudur.
- Genel olarak bir maddenin özgül ısı, sıcaklık ve basınç gibi iki özelliğe bağlıdır.
- Düşük basınçlarda bütün gerçek gazlar ideal gaz gibi davranırlar ve bu yüzden özgül ısıları sadece sıcaklığa bağlıdır.



**ŞEKİL 1-9**  
Özgül ısı, bir maddenin birim miktarının sıcaklığını, belirli bir yolla bir derece arttırmak için gerekli olan enerji miktarıdır.



**ŞEKİL 1-10**

Maddelerin özgül ısıları sıcaklığa bağlı olarak değişir.



$$1 \text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C} \equiv 1 \text{ J/g}\cdot^{\circ}\text{C} \equiv 1 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \equiv 1 \text{ J/g}\cdot\text{K}$$

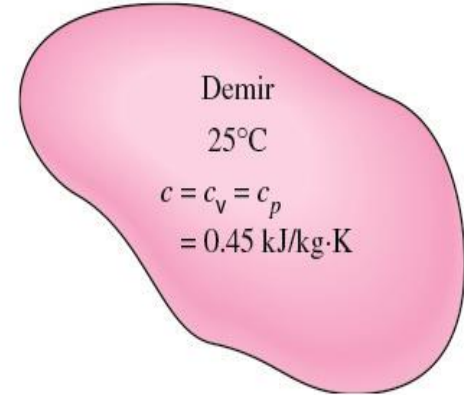
$$du = c_v dT \quad \text{and} \quad dh = c_p dT$$

$$\Delta u = c_{v, \text{avg}} \Delta T \quad \text{and} \quad \Delta h = c_{p, \text{avg}} \Delta T \quad (\text{J/g})$$

$$\Delta U = mc_{v, \text{avg}} \Delta T \quad \text{and} \quad \Delta H = mc_{p, \text{avg}} \Delta T \quad (\text{J})$$

- **Sıkıştırılmaz maddeler:** Özgül hacmi (veya yoğunluğu) sıcaklık ve basınçla değişmeyen maddelere denir.
- Sıkıştırılmaz maddeler için sabit hacim ve sabit basınç özgül ısıları aynıdır.
- Sıkıştırılmaz maddelerin özgül ısıları sadece sıcaklığa bağlıdır.

$$\Delta U = mc_{\text{avg}} \Delta T \quad (\text{J})$$



**ŞEKİL 1-11**

Sıkıştırılmayan maddelerin  $c_v$  ve  $c_p$  özgül ısıları aynıdır ve  $c$  ile gösterilir.

# Enerji Transferi

Verilen bir kütleye veya kütleden enerji iki mekanizma ile aktarılabilir:

*Isı transfer*  $Q$  ve *İş*  $W$

*Isı transfer hızı*: birim zamanda transfer edilen ısı miktarına denir.

*Isı akışı*: Isı transfer doğrultusuna dik, birim alan başına ısı transfer hızı, ısı akısı olarak adlandırılır; ortalama ısı akısı

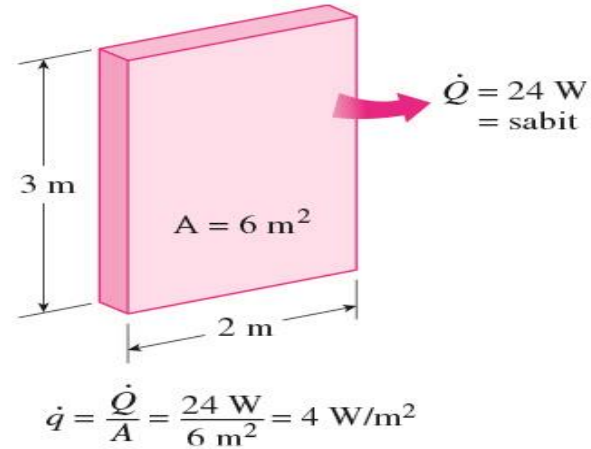
*Güç*: Birim zamanda yapılan işe denir.

$$Q = \int_0^{\Delta t} \dot{Q} dt \quad (\text{J})$$

$\dot{Q}$  Sabit olduğunda

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

$$q = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (\text{W/m}^2)$$



## ŞEKİL 1-13

Isı akısı, *birim zamanda ve birim alan başına* ısı transferidir ve *hızı*,  $A$  alanı  $q = \dot{Q}/A$  üzerinde üniform ise  $\dot{Q}$ 'ya eşit olur.

# TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ KANUNU

Enerjinin korunumu prensibi olarak da **bilinen termodinamiğin birinci kanunu**, bir işlem süresince enerjinin vardan yok, yoktan var edilemeyeceğini, sadece biçim değiştireceğini ifade eder.

$$\left( \begin{array}{c} \text{Total energy} \\ \text{entering the} \\ \text{system} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{Total energy} \\ \text{leaving the} \\ \text{system} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Change in the} \\ \text{total energy of} \\ \text{the system} \end{array} \right)$$

Sisteme giren toplam enerji - Sistemden çıkan toplam enerji) = Sistemdeki Toplam değişen enerji )

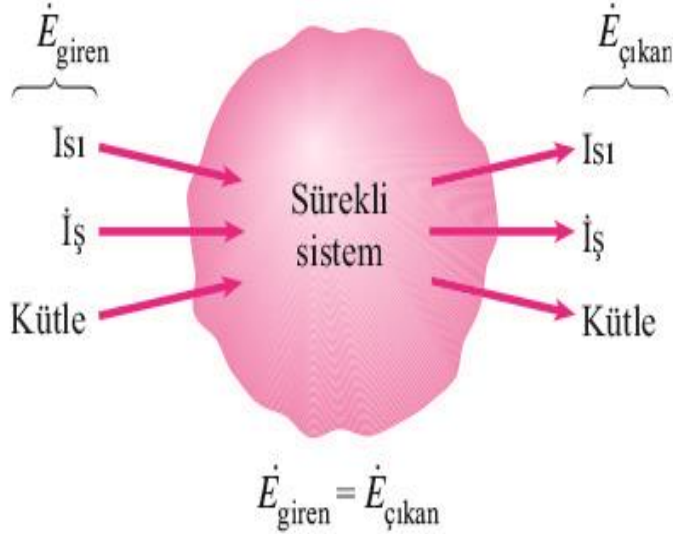
Bir işlem esnasında bir sistemin toplam enerjisindeki net değişme (artma veya azaltma), işlem esnasında sisteme giren ve çıkan toplam enerjiler arasındaki farka eşittir. Herhangi bir işleme tabi herhangi bir sistem için **enerji dengesi** şöyle yazılabilir:

$$\underbrace{E_{in} - E_{out}}_{\text{Net energy transfer by heat, work, and mass}} = \underbrace{\Delta E_{system}}_{\text{Change in internal, kinetic, potential, etc., energies}} \quad (J)$$

$$\underbrace{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}_{\text{Rate of net energy transfer by heat, work, and mass}} = \underbrace{dE_{system}/dt}_{\text{Rate of change in internal kinetic, potential, etc., energies}} \quad (W)$$

Steady, rate form:

$$\underbrace{\dot{E}_{in}}_{\text{Rate of net energy transfer in by heat, work, and mass}} = \underbrace{\dot{E}_{out}}_{\text{Rate of net energy transfer out by heat, work, and mass}}$$



ŞEKİL 1-15

Sürekli bir işlemde bir sisteme transfer edilen ısı, sistemden transfer edilen ısıya eşittir.

Isı transfer çözümlemesinde genellikle enerjinin, yalnız bir sıcaklık farkı sonucu transfer edilebilen şekilleriyle ilgilenilir ki bu, ısı veya ısıl enerjidir. Böyle durumlarda bir **ısı dengesi** yazmak ve nükleer, kimyasal ve elektrik enerjilerinin **ısıl enerjiye** dönüşümünü ısı üretimi olarak ele almak uygundur.

$$\underbrace{Q_{in} - Q_{out}}_{\text{Net heat transfer}} + \underbrace{E_{gen}}_{\text{Heat generation}} = \underbrace{\Delta E_{\text{thermal, system}}}_{\text{Change in thermal energy of the system}} \quad (J)$$

# Kapalı Sistemler İçin Enerji Dengesi (Sabit Kütle)



## ŞEKİL 1-16

Herhangi bir iş etkileşmesi yoksa, kapalı bir sistemin enerji içeriği, net ısı transferine eşittir.

Kapalı bir sistem bir sabit kütleden oluşmuştur.

Uygulamada karşılaşılan birçok sistem için  $E$  toplam enerji  $U$  iç enerjiden oluşmuştur.

Bu, özellikle bir işlem esnasında hızlarında ve yüksekliklerinde herhangi bir değişiklik içermemeleri sebebiyle, sabit sistemlere has durumdur.

*Stationary closed system:*

$$E_{in} - E_{out} = \Delta U = mc_v \Delta T \quad (J)$$

*Stationary closed system, no work:*

$$Q = mc_v \Delta T \quad (J)$$

# Sürekli Akış Sistemleri İçin Enerji Dengesi

Su ısıtıcıları ve otomobil radyatörü benzeri çok sayıda mühendislik cihazı, bir sisteme giren ve çıkan kütle akışı içerir ve **kontrol hacmi** olarak modellenir.

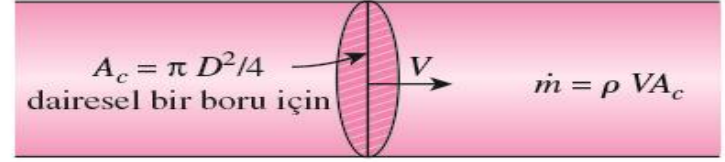
Most control volumes are analyzed under steady operating conditions.

Çoğu **kontrol** hacimleri **sürekli şartlar altında** çözülür.

Sürekli deyişi, belli bir konumda zamana bağlı değişimin olmaması demektir.

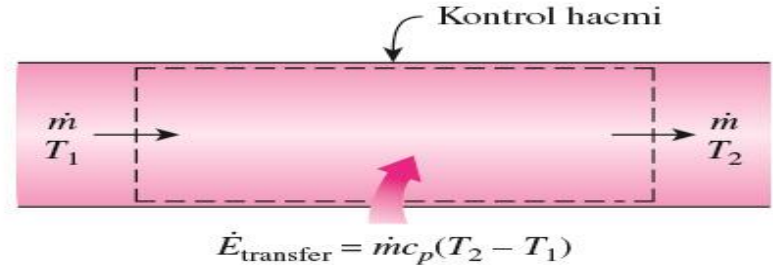
**Kütle akış debisi:** Bir akış cihazının bir kesitinden, birim zamanda akan kütle miktarına denir.

**Hacimsel debi:** Bir boru veya kanalın içerisinde birim zamanda akan akışkan hacmine denir.



**ŞEKİL 1-17**

Bir kesitteki akışın kütle debisi, akışkanın kütlesi, ortalama akışkan hızı ve kesit alanının çarpımına eşittir.



**ŞEKİL 1-18**

Sürekli rejim şartlarında bir kontrol hacme olan net enerji transfer hızı, kontrol hacimden akan akışkan akımının enerjisindeki artış hızına eşittir.

$$\dot{m} = \rho VA_c \quad (\text{kg/s})$$

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

$$\dot{Q} = \dot{m}\Delta h = \dot{m}c_p\Delta T \quad (\text{kJ/s})$$

# Yüzey Enerji Dengesi

Bir yüzeyin hacmi ve kütlesi olmadığı için enerjisi de yoktur. Bu sebeple bir yüzey, bir işlem boyunca enerji içeriği sabit kalan hayali bir sistem olarak görülebilir.

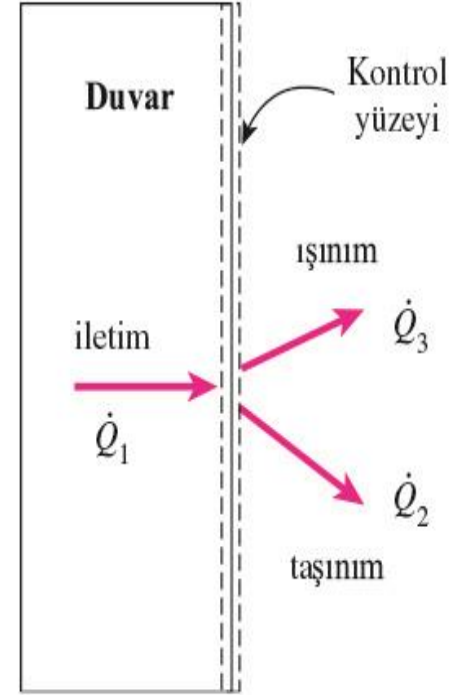
*Surface energy balance:*

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

Bu denklem hem sürekli hem de zamana bağlı şartlar için geçerlidir; bir yüzeyin hacmi olmadığı için, yüzey enerji dengesi ısı üretimi içermez.

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3$$

Etkileşmelerin doğrultuları bilinmiyorsa, bütün enerji etkileşmelerinin yüzeye doğru oldukları kabul edilir ve yüzeyde enerji dengesi  $\sum E = 0$  olarak yazılır. Zıt yöndeki etkileşimlerin negatif değerler olarak sonuçlanacakları ve bu denklemi dengeleyecekleri dikkate alınmalıdır.



**ŞEKİL 1-19**

Bir evin dış duvarında enerji etkileşmeleri.