



***Dr. Osman TURAN***

*Makine ve İmalat Mühendisliği*

*Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi*

# ISI TRANSFERİ

# Kaynaklar



# Ders Deđerlendirme

# Ders Planı

- Giriş: Isı Transferi
- Isı İletimi
- Sürekli Isı İletimi
- Genişletilmiş Yüzeylerden Isı İletimi
- Zamana Bağlı Isı İletimi
- Taşınım Giriş
- Zorlanmış İç Taşınım
- Zorlanmış Dış Taşınım
- Doğal Taşınım
- Işınım

## Giriş: Isı Transferi

- Termodinamik dersinde, bir sistem ile çevresi arasında, ısı ve iş olarak adlandırılan, etkileşimler sonucunda enerji aktarımının olabileceğini öğrendiniz.
- Termodinamik, iki sistem arasındaki sıcaklık farkının neden olduğu enerji aktarımını **ısı** olarak tanımlamaktadır.

### Isı Nedir?

**Isı, bir enerji türüdür.**

### Isı Transferi Nedir?

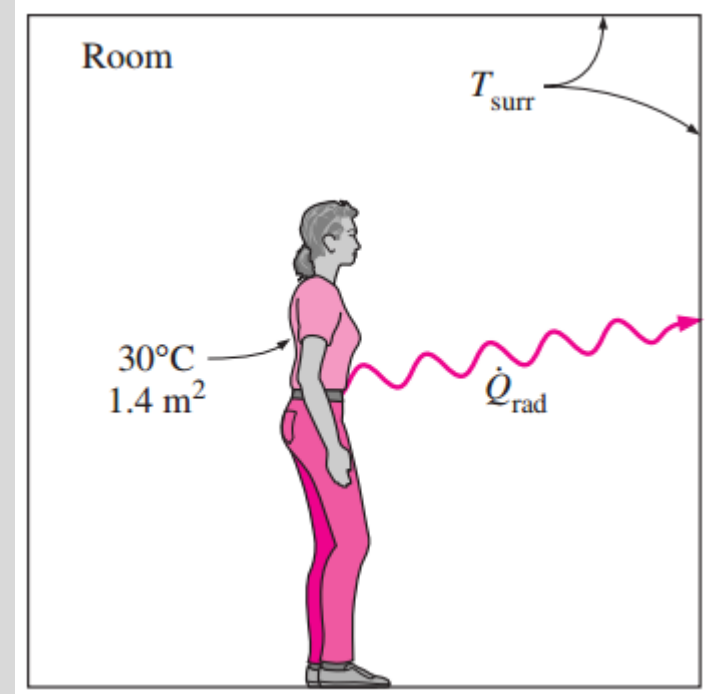
**Isı transferi, sıcaklık farkından kaynaklanan enerji aktarımıdır.** Bir ortam içinde veya ortamlar arasında, sıcaklık farkı mevcut olan her durumda, ısı transferi her zaman gerçekleşir.

- Termodinamik, **sistemlerin denge durumları ile ilgilenir**, yani bir sistemin bir denge halinden başka bir haline geçmesi için gerekli olan enerji miktarı ile ilgilenir.
- Termodinamik, enerji geçişi esnasında dengede olmayan durumla, durumun nasıl ve ne kadar hızla geliştiği ile ilgilenmez.
- Isı transferi , TD1K ve TD2K 'na ek olarak deneysel kuralları da içerir ve **ısı transferinin miktarını belirlemek ile ilgilenir.**

## Giriş: Isı Transferi

Evlerde termostat ayarı aynı tutulsa bile, insanların kışın kendilerini soğuk yazın ise sıcak hissetmeleri yaygın bir deneyimdir.

Bunun sebebi nedir?



## Giriş: Isı Transferi

### Termodinamik ve Isı Transferinin bir probleme yaklaşımı



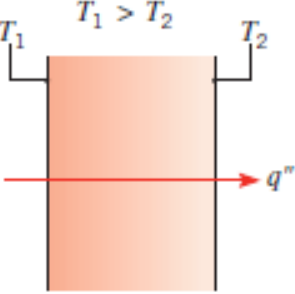
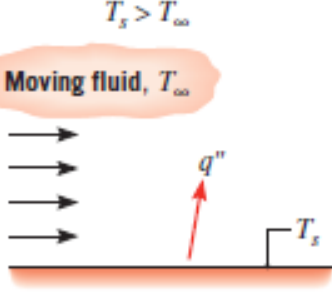
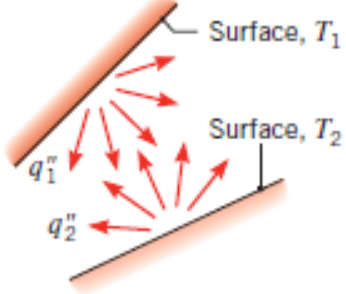
Termodinamik, çay kaşığının ve çayın son sıcaklığını yani denge sıcaklığını tahmin eder. Denge sıcaklığına ne zaman ulaşılacağını veya kaşığın yada çayın denge durumuna ulaşmadan önceki herhangi bir zamandaki sıcaklıklarının ne olacağını tahmin etmez.

Isı transferi, çay kaşığını ve çayın sıcaklığını zamanının bir fonksiyonu olarak tahmin etmek için kullanılır.



## Giriş: Isı Transfer Mekanizmaları

### Isı Transfer Mekanizmaları

İletim	Taşınım	İşinım
		
Bir katı veya durgun akışkan içerisinde, bir sıcaklık farkı olması durumunda, ısı transferi iletim ile gerçekleşir	Bir yüzey ile hareket halindeki bir akışkan farklı sıcaklıklarda ise, ısı transferi taşınım ile gerçekleşir	Farklı sıcaklıklardaki iki yüzey arasında ısı transferi işinım ile gerçekleşir

## Giriş: Isı Transfer Mekanizmaları

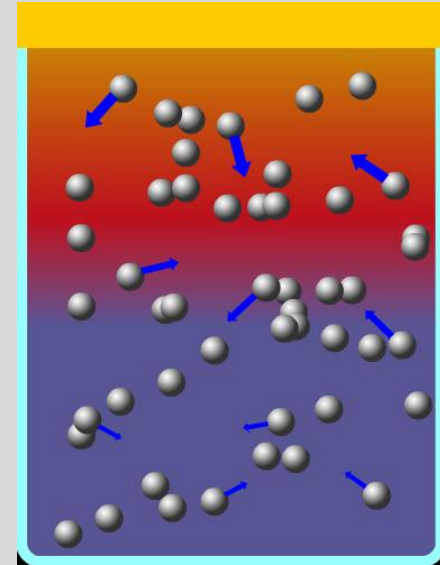
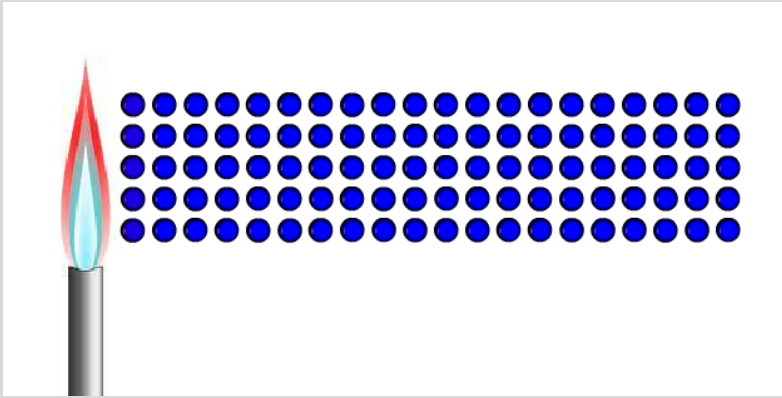




## Giriş: Isı Transfer Mekanizmaları: İletim

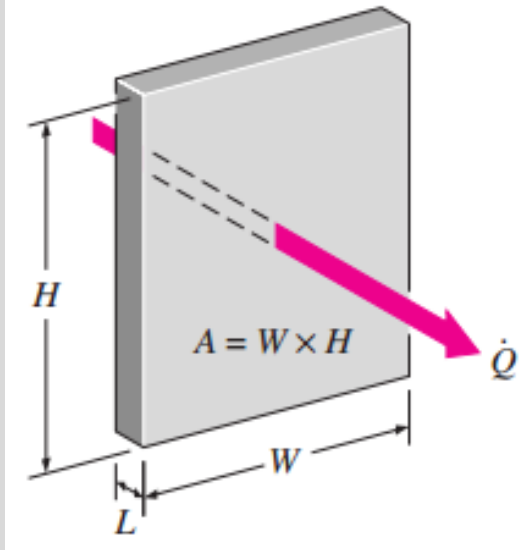
- **İletim**, bir maddenin daha yüksek enerjili parçacıklarından bitişiklerindeki daha düşük enerjili parçacıklarına, bu parçacıklar arasındaki etkileşimler sonucunda enerji aktarılmasıdır.
- **İletim ile ısı transferi** katılarda, sıvılarda ve gazlarda gerçekleşebilir.
- **İletim ile ısı transferi** atomik ve moleküler düzeyde hareketler ile ilişkilidir. **Katılarda** bu hareket **titreşim** şeklinde gerçekleşirken, **sıvı ve gazlarda moleküllerin rastgele hareketlerle** birbirleri ile çarpışması sonucu gerçekleşir.

Rastgele moleküler hareketler ile enerji (ısı) aktarımı, **enerji yayılımı (ısı yayılımı)** olarak ifade edilir.



## Giriş: Isı Transfer Mekanizmaları: İletim

- **İletim** ile birim zamanda transfer edilen ısı miktarını hesaplamak için **Fourier Denklemi** kullanılır.



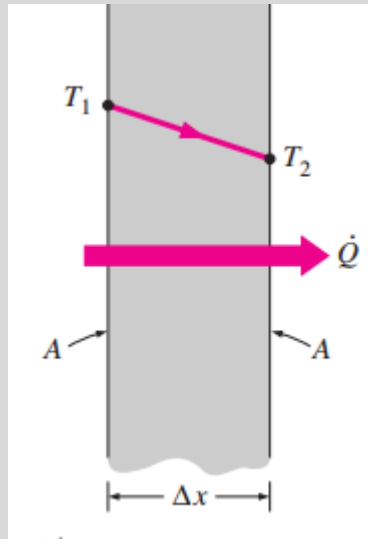
$$\dot{Q} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Sıcaklık farkı (K)  
(W)  
Kalınlık (m)  
Isı iletim katsayısı (W/mK)  
(Isı geçişine dik) Yüzey alanı (m<sup>2</sup>)

### Fourier Isı İletim Denklemi

$$\dot{Q} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (W)$$

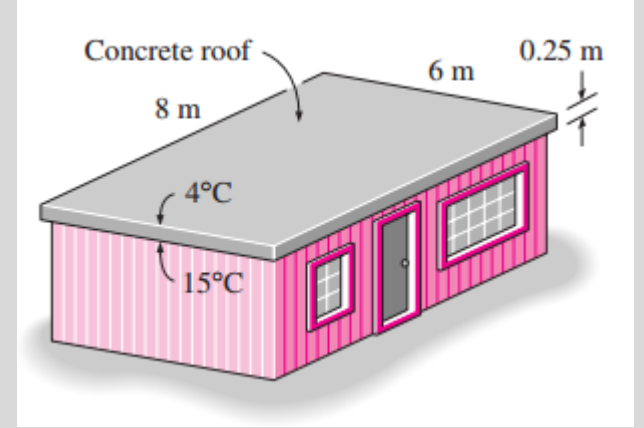
$\frac{dT}{dx}$  : Sıcaklık gradyanı (K/m)



## Giriş: Isı Transfer Mekanizmaları: İletim

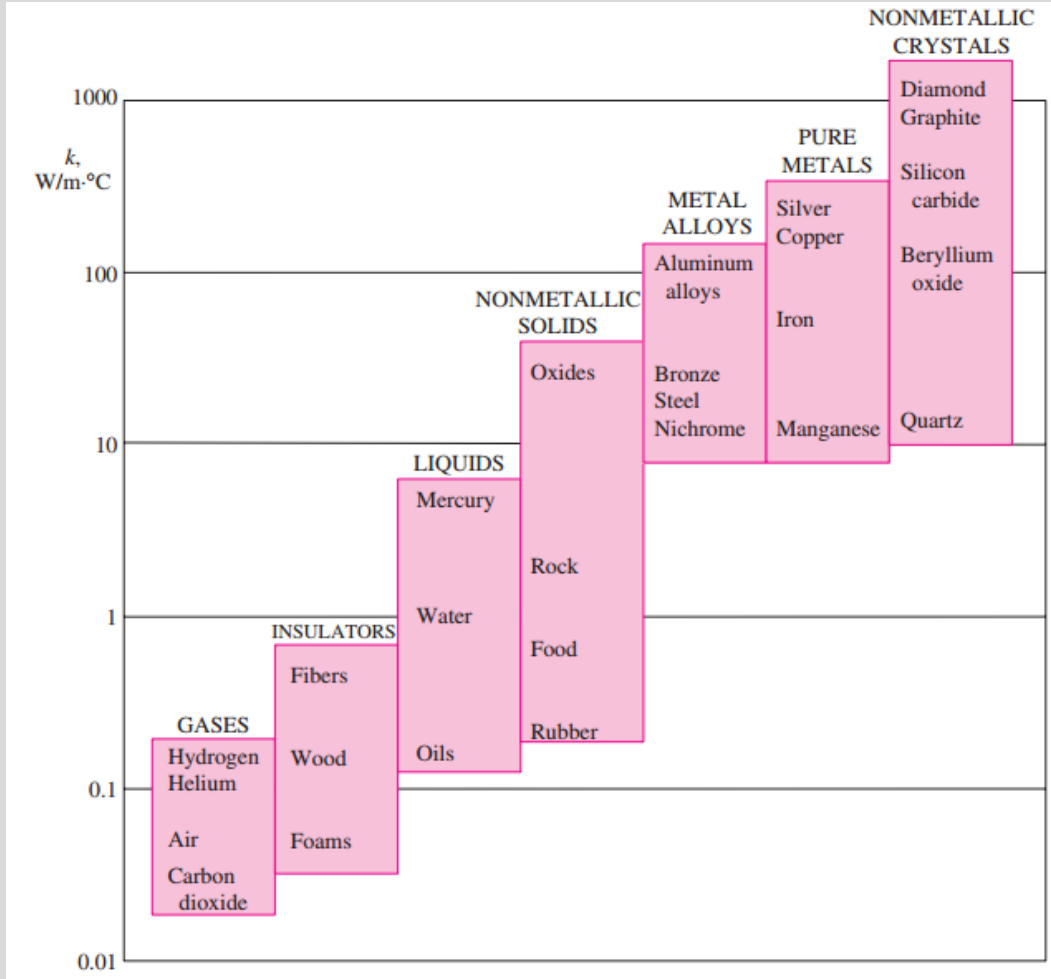
### ■ Örnek 1.1

Elektrikle ısıtılan bir evin çatısı 6 m uzunlukta, 8 m genişlikte ve 0.25 m kalınlıkta bir dikdörtgen şeklindedir. Çatı malzemesinin ısı iletim katsayısı 0.8 W/mK dir. Çatının iç ve dış yüzey sıcaklıkları sırası ile 15 °C ve 4 °C olduğuna göre çatıdaki ısı kayıp hızını hesaplayınız.



# Giriş: Isı Transfer Mekanizmaları: İletim

## ■ Isıl İletkenlik



**FIGURE 1-26**

The range of thermal conductivity of various materials at room temperature.

## Bazı malzemelerin oda sıcaklığındaki ısı iletkenlikleri

Malzeme	$k, W/m \cdot ^\circ C^*$
Elmas	2300
Gümüş	429
Bakır	401
Altın	317
Alüminyum	237
Demir	80.2
Cıva (s)	8.54
Cam	0.78
Tuğla	0.72
Su (s)	0.607
İnsan derisi	0.37
Ağaç (meşe)	0.17
Helyum	0.152
Yumuşak kauçuk	0.13
Cam elyafı	0.043
Hava (g)	0.026
Üretan, katı köpük	0.026

# Giriş: Isı Transfer Mekanizmaları: İletim

## ■ Isıl Yayınım

### Isıl Yayınım Katsayısı

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} = \frac{\text{iletilen ısı}}{\text{depolanan ısı}} \quad (m^2/s)$$

Yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)

Özgül ısı (J/kgK)

Isıl kapasite (J/m<sup>3</sup>K)

Malzemelerin ısı depolama kapasitelerini gösterir

Isıl yayılım ne kadar büyük olursa ısının ortam içerisinde yayılması o kadar hızlı olur.

TABLE 1-4

The thermal diffusivities of some materials at room temperature

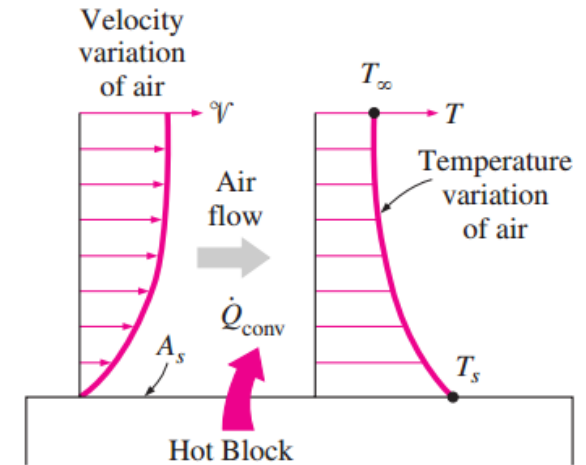
Material	$\alpha, m^2/s^*$
Silver	$149 \times 10^{-6}$
Gold	$127 \times 10^{-6}$
Copper	$113 \times 10^{-6}$
Aluminum	$97.5 \times 10^{-6}$
Iron	$22.8 \times 10^{-6}$
Mercury (l)	$4.7 \times 10^{-6}$
Marble	$1.2 \times 10^{-6}$
Ice	$1.2 \times 10^{-6}$
Concrete	$0.75 \times 10^{-6}$
Brick	$0.52 \times 10^{-6}$
Heavy soil (dry)	$0.52 \times 10^{-6}$
Glass	$0.34 \times 10^{-6}$
Glass wool	$0.23 \times 10^{-6}$
Water (l)	$0.14 \times 10^{-6}$
Beef	$0.14 \times 10^{-6}$
Wood (oak)	$0.13 \times 10^{-6}$

## Giriş: Isı Transfer Mekanizmaları: Taşınım

- **Taşınım**, bir katı yüzey ile ona bitişik, hareket halinde akışkan (sıvı ya da gaz) arasında ısı transfer türüdür.
- **Taşınım**la ısı geçişi, rastgele moleküler hareket (**yayılm/konveksiyon**) ve akışkanın kitlesel ya da yığın hareketi (**adveksiyon**) olmak üzere **iki mekanizmadan oluşur**.
- **Akışkan hareketi ne kadar hızlı olursa taşınım ile ısı transferi o kadar büyük olur**.
- Yığın yada kitlesel **akışkan hareketinin ortadan kalkması halinde**, katı yüzeyle bitişigindeki akışkan arasındaki **ısı transferi yalnızca moleküllerin rastgele hareketi yani iletim ile meydana gelir**.

■ Yandaki şekilde gösterildiği gibi, sıcak bir bloğun üst yüzeyinden soğuk hava üflenerek soğutulmasını dikkate alalım; ısı önce blok ile bitişik hava tabakasına iletim ile aktarılır (çünkü bloğa bitişik hava tabakasının hızı sıfırdır). Daha sonra ısı yüzeyden taşınım (yayılm/konveksiyon + adveksiyon) ile transfer edilerek blok yüzeyi soğutulur.

■ **Taşınım içerisindeki** rastgele moleküler hareket (**yayılm**) **katkısı**, akışkan hızının düşük olduğu **yüze yakın kısımda etkilidir**.

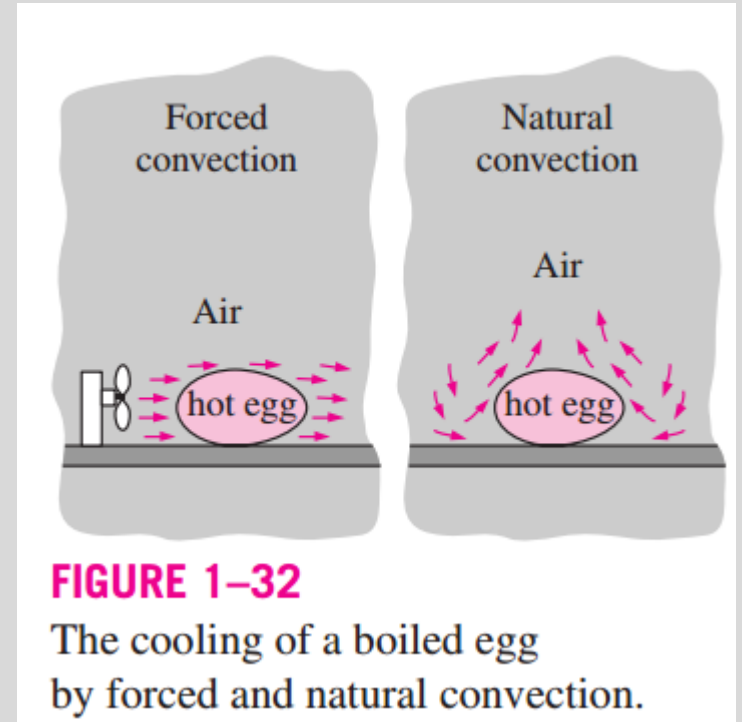


**FIGURE 1-31**

Heat transfer from a hot surface to air by convection.

## Giriş: Isı Transfer Mekanizmaları: Taşınım

- **Taşınım**la ısı geçişi, akışın türüne göre zorlanmış ve doğal taşınım olmak üzere iki sınıfa ayrılır.



## Giriş: Isı Transfer Mekanizmaları: Taşınım

- **Taşınım** ile birim zamanda transfer edilen ısı miktarını hesaplamak için **Newton Soğuma Kanunu** kullanılır.

**Newton Soğuma Kanunu**

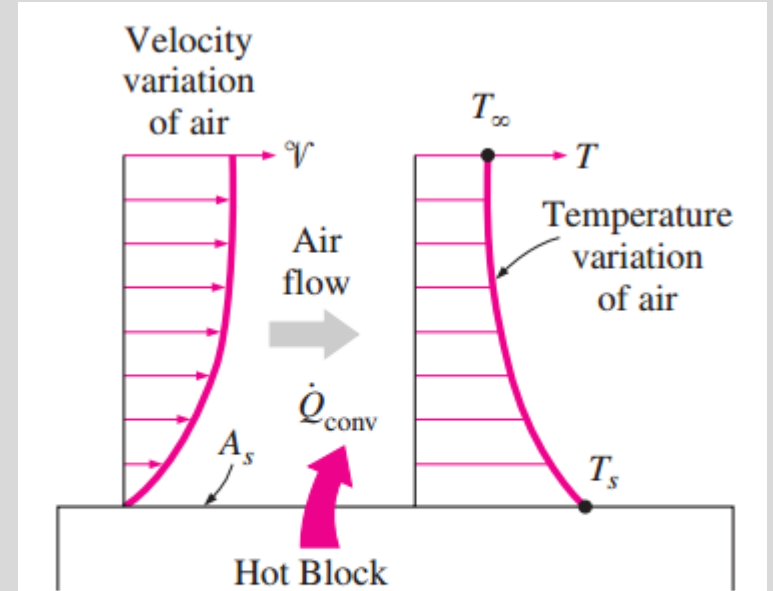
$$\dot{Q} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (W)$$

Isı taşınım katsayısı ( $W/m^2K$ )

Akışkanın temas ettiği yüzey alanı ( $m^2$ )

Yüzey sıcaklığı ( $K$ )

Akışkan sıcaklığı ( $K$ )



**FIGURE 1-31**

Heat transfer from a hot surface to air by convection.



**TABLE 1–5**

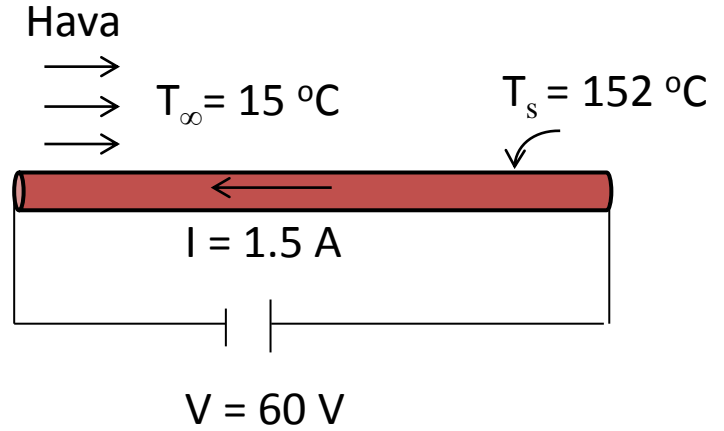
Typical values of convection heat transfer coefficient

Type of convection	$h, \text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}^*$
Free convection of gases	2–25
Free convection of liquids	10–1000
Forced convection of gases	25–250
Forced convection of liquids	50–20,000
Boiling and condensation	2500–100,000

## Giriş: Isı Transfer Mekanizmaları: Taşınım

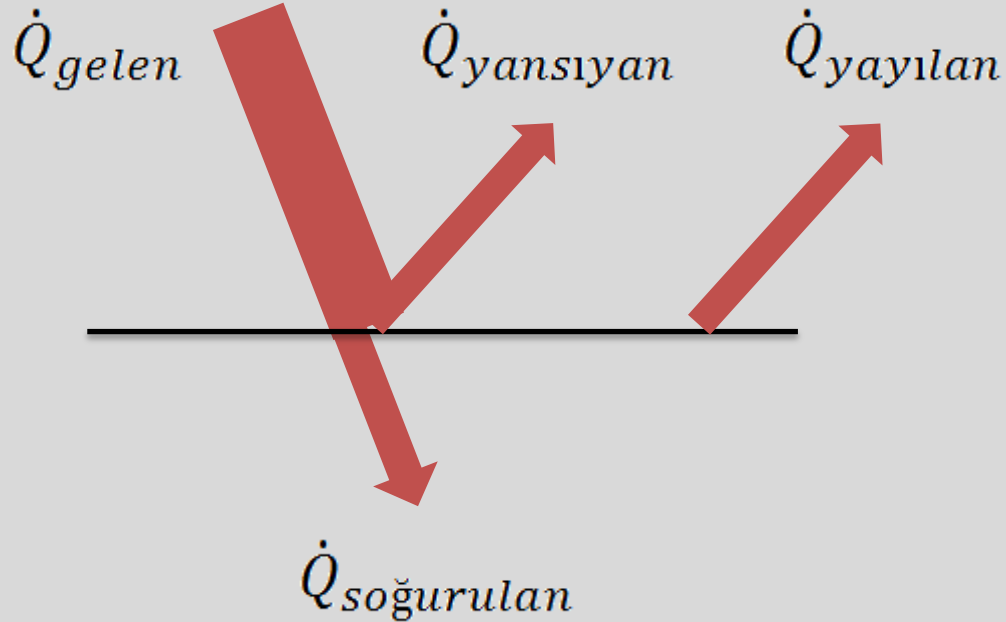
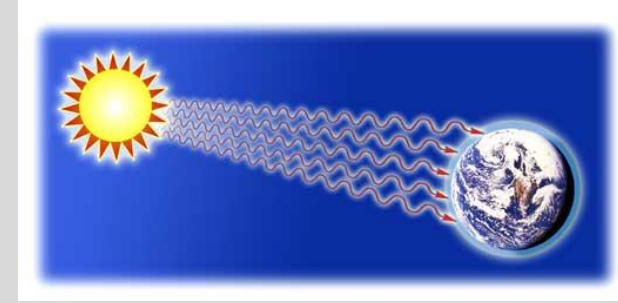
### ■ Örnek 1.2

Uzunluğu 2 m, çapı 0.3 cm olan elektrik teli 15 °C deki bir odadan geçmektedir. Telin direnci sonucu ısı üretilmektedir ve sürekli rejimde telin yüzey sıcaklığı 152 °C dir. Telin uçları arasındaki potansiyel gerilim 60 V ve elektrik akımı 1.5 A dir. Telin dış yüzeyi ile oda arasındaki taşınım ile ısı transfer katsayısını hesaplayınız.

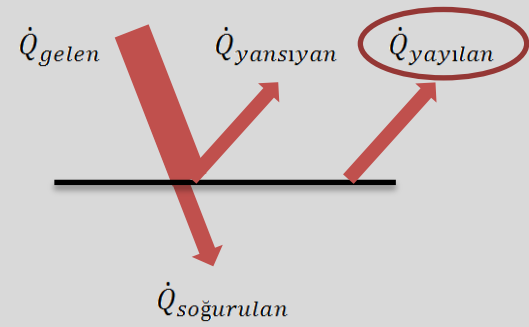


## Giriş: Isı Transfer Mekanizmaları: Işınım

- **Işınım**, sonlu sıcaklığa sahip bir cismin elektromanyetik dalgalar şeklinde yaydığı enerjidir.
- Mutlak sıfır ( $0 K = -273 \text{ }^\circ\text{C}$ ) üzerindeki sıcaklıklarda bütün maddeler ısı yayarlar.
- İletim ve taşınımın aksine, **ışınım ile ısı transferi için bir ortam gerekliliği bulunmamaktadır**. Hatta, ışınım ile ısı transferi boşlukta daha etkin olarak gerçekleşir.
- Bütün maddeler ışınmı farklı seviyelerde **yayar, soğurur** veya **geçirirler**.



## Giriş: Isı Transfer Mekanizmaları: Işınım



- $T_s$  sıcaklığına sahip bir yüzeyden birim zamanda yayılabilecek maksimum ışınım miktarı **Stefan-Boltzman Kanunu** ile belirlenir:

$$\dot{Q}_{yay} = \sigma A_s T_s^4 \quad (W)$$

: Siyah Cisim için

Stefan-Boltzman sabiti  
 $5.670 \times 10^{-8} \text{ (W/m}^2\text{K}^4)$

Yüzey alanı  
 $(m^2)$

Yüzeyin mutlak sıcaklığı  
 $(K)$

- Gerçek cisimlerden yayılan ışınım, aynı sıcaklıktaki siyah cisimden yayılan ışıınımdan daha azdır:

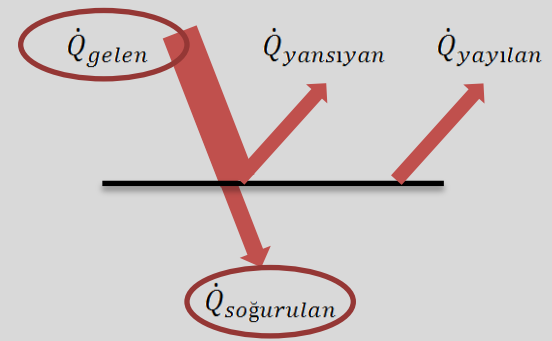
$$\dot{Q}_{yay} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (W)$$

: Gerçek Cisim için

Yüzeyin yayıcılığı (yayma katsayısı) :  $0 \leq \varepsilon \leq 1$

$\varepsilon = 1$  : Siyah cisim

## Giriş: Isı Transfer Mekanizmaları: Işınım



- Bir yüzey üzerine güneşten ya da çevresindeki diğer kaynaklardan **gelen ışınım** da söz konusudur.

$$\dot{Q}_{gelen} = \sigma A_s T_\zeta^4 \quad (W) \quad \text{Stefan-Boltzman Kanunu}$$

- Yüzey üzerine gelen ışınımın bir kısmı yada tamamı yüzey tarafından soğrulabilir ve soğrulan bu enerji, yüzeyin  $\alpha$  soğurma ( ya da yutma) oranı bilindiği takdirde hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_{soğrulan} = \alpha \dot{Q}_{gelen}$$

Yüzeyin soğurganlığı (soğurma katsayısı) :  $0 \leq \alpha \leq 1$   
 $\alpha = 1$  : Siyah cisim

Siyah cisim → Mükemmel yayıcı  
Siyah cisim → Mükemmel soğurucu

$$\dot{Q}_{soğrulan} = \varepsilon \sigma A_s T_\zeta^4$$



Gri Cisim Kabulü  $\varepsilon = \alpha$

## Giriş: Isı Transfer Mekanizmaları: Işınım

- Bir cismin yaydığı ve soğurduğu ışınım arasındaki fark **net ışınım ısı transferidir**.

$$\dot{Q}_{\text{ışınım}} = \dot{Q}_{\text{yayılan}} - \dot{Q}_{\text{soğurulan}}$$



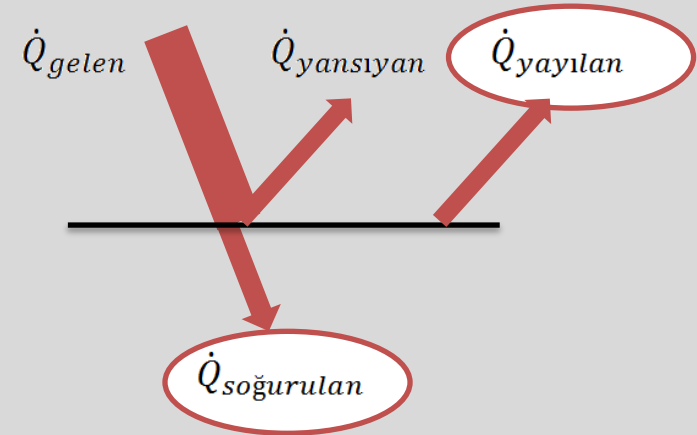
$$\dot{Q}_{\text{ışınım}} = \dot{Q}_{\text{yayılan}} - \alpha \dot{Q}_{\text{gelen}}$$



$$\dot{Q}_{\text{ışınım}} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 - \varepsilon \sigma A_s T_\zeta^4$$



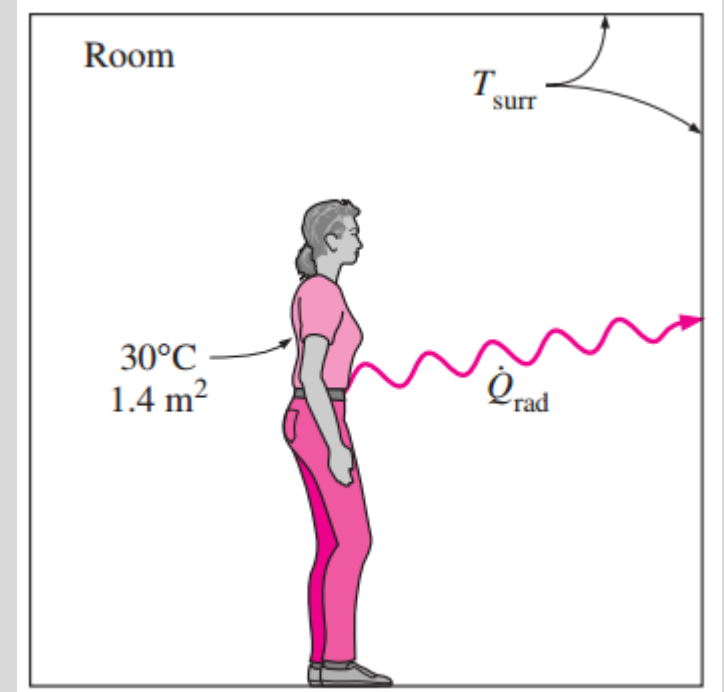
$$\dot{Q}_{\text{ışınım}} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\zeta^4) \quad (W)$$



## Giriş: Isı Transfer Mekanizmaları: Işınım

### ■ Örnek 1.3

Her zaman 22 °C'de tutulan bir odada ayakta duran bir kişi göz önüne alınır. Evin duvarları, taban ve tavanın iç kısımları kışın 10 °C, yazın ise 25 °C ortalama sıcaklıkta olduğu gözlenmiştir. Eğer bu kişinin açıktaki yüzey alanı 1.4 m<sup>2</sup> ise ve ortalama dış yüzey sıcaklığı 30 °C ise bu kişi ile çevre yüzeyler arasındaki ışıma ısı transfer hızını belirleyiniz.

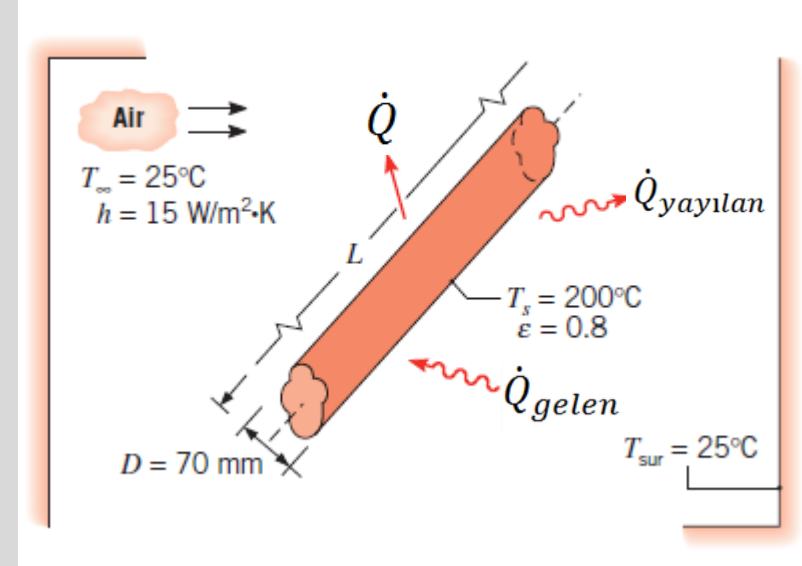


## Giriş: Isı Transfer Mekanizmaları: Işınım

### ■ Örnek 1.4

İçindeki havanın ve duvarların sıcaklıkları  $T_c = 25\text{ °C}$  olan bir odadan, yalıtımsız bir buhar borusu geçmektedir. Borunun dış çapı  $D = 70\text{ mm}$ , yüzeyinin sıcaklığı  $T_s = 200\text{ °C}$  ve yayma oranı  $\varepsilon = 0.8$ 'dir.

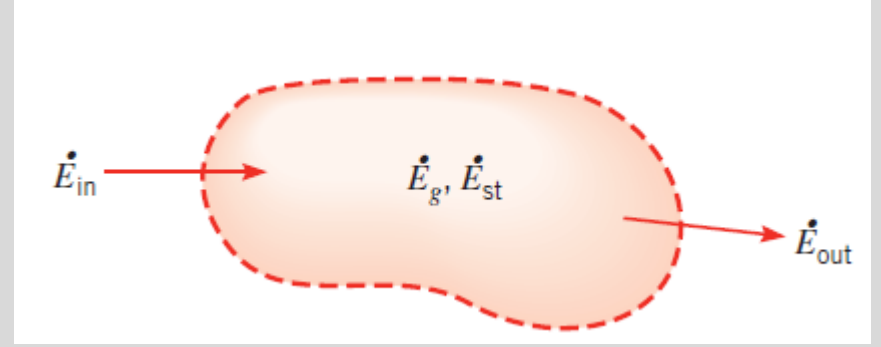
- Yüzeyden yayılan ışıınımı ve yüzeye gelen ışıınımı hesaplayın.
- Yüzeyden havaya doğal taşınım ile ısı transfer katsayısı  $h = 0.15\text{ W/m}^2\text{K}$  olduğuna göre, borunun yüzeyinden, borunun birim uzunluğu için, birim zamandaki ısı kaybı ne kadardır?





## Giriş: Enerjinin Korunumu İlkesi (TD1K)

- Enerjinin korunumu ilkesi (TD1K), bir işlem süresince enerjinin vardan yok, yoktan var edilemeyeceğini, sadece biçim değiştirebileceğini ifade eder.



Sisteme birim zamanda giren toplam enerji

+

Sistemde birim zamanda üretilen enerji

-

Sistemden birim zamanda çıkan toplam enerji

=

Birim zamanda sistemin toplam enerjisindeki değişim (depolanan enerji)

(W)

$$\dot{E}_i + \dot{E}_g - \dot{E}_o = \frac{dE_{st}}{dt} = \dot{E}_{st}$$

$$\dot{E}_i + \dot{E}_g - \dot{E}_o = 0$$

Sürekli rejim durumunda

## Giriş: Yüzeyde Enerji Korunumu

- Daha öncede ifade edildiği gibi, ısı, iletim, taşınım ve ışınım mekanizmaları ile transfer ve ısı bir ortam diğerine transfer edilirken vasıta değiştirebilir.

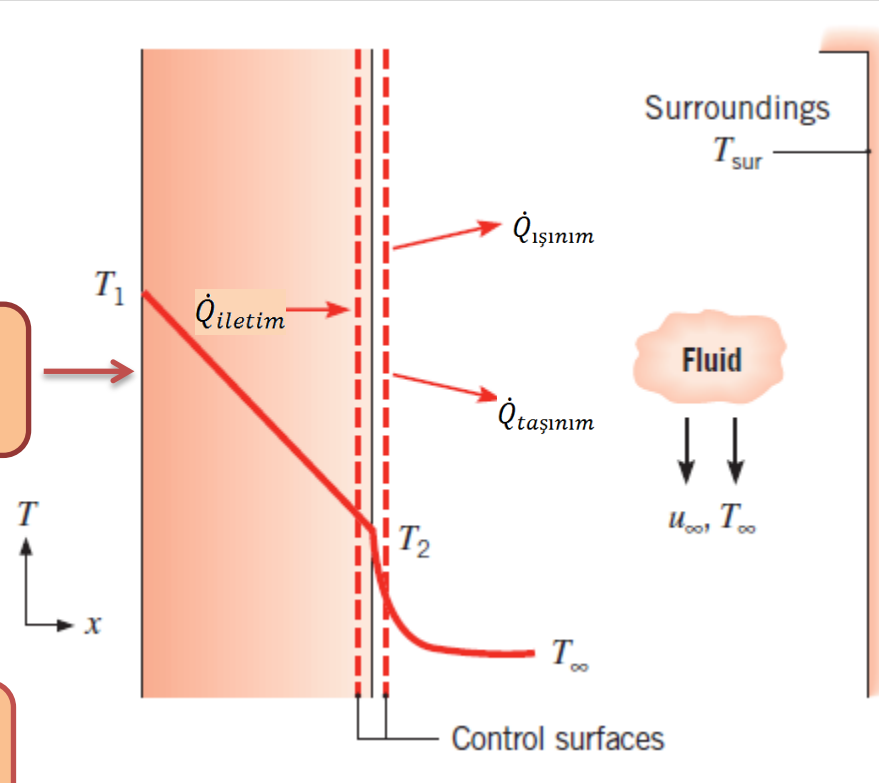
■ Enerjinin korunumu ilkesinin, bir ortam yüzeyinde uygulanması sıklıkla karşılaşılan bir durumdur .

- Kontrol yüzeyinin bir hacmi ve kütlesi yoktur. Bu nedenle enerji korunum bağıntısındaki üretilen ve depolanan enerji terimleri anlamsızdır.

$$\dot{E}_i = \dot{E}_0 \quad \text{Kontrol yüzeyi için}$$

- Ortam içerisinde enerji üretimi olsa dahi bu kontrol yüzeyindeki enerji dengesini etkilemez. Ayrıca, kontrol yüzeyindeki korunum ilesi hem sürekli hem de geçici rejimler için geçerlidir.

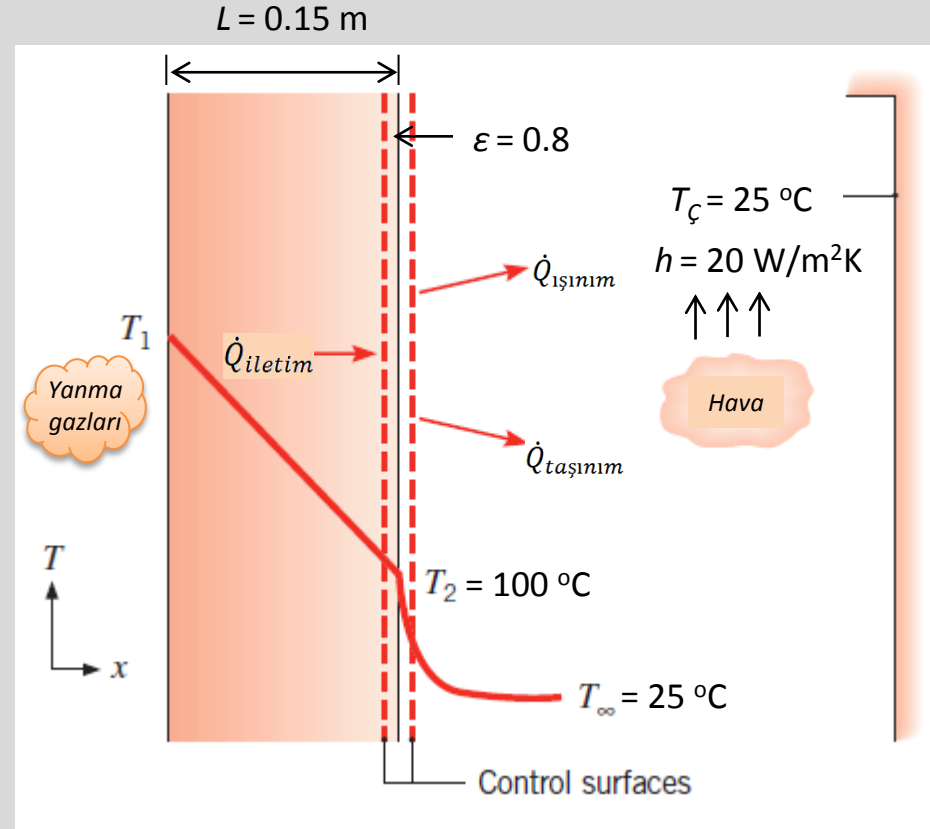
$$\dot{Q}_{iletim} = \dot{Q}_{taşınım} + \dot{Q}_{ışınım}$$



## Giriş: Yüzeyde Enerji Korunumu

### ■ Örnek 1.5

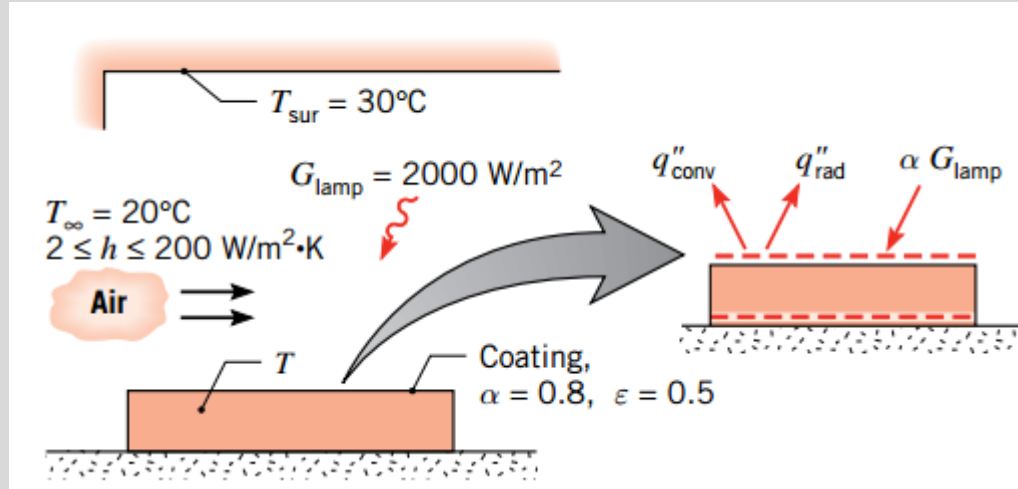
Bir ocaktaki sıcak yanma ürünü gazlar, 25 °C sıcaklıktaki ortam havası ve çevre yüzeylerden, 0.15 m kalınlıktaki tuğla duvar ile ayrılmıştır. Tuğlanın ısı iletim katsayısı  $k = 1.2 \text{ W/mK}$ , yüzeyin ışıyım yayma oranı ise  $\epsilon = 0.8$ 'dir. Sürekli rejimde, dış yüzey sıcaklığı 100 °C olarak ölçülmüştür. Yüzeyle ortam havası arasındaki doğal taşınım ile ısı geçiş katsayısı  $h = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$  değerindedir. Tuğla duvarın iç yüzey sıcaklığı nedir?



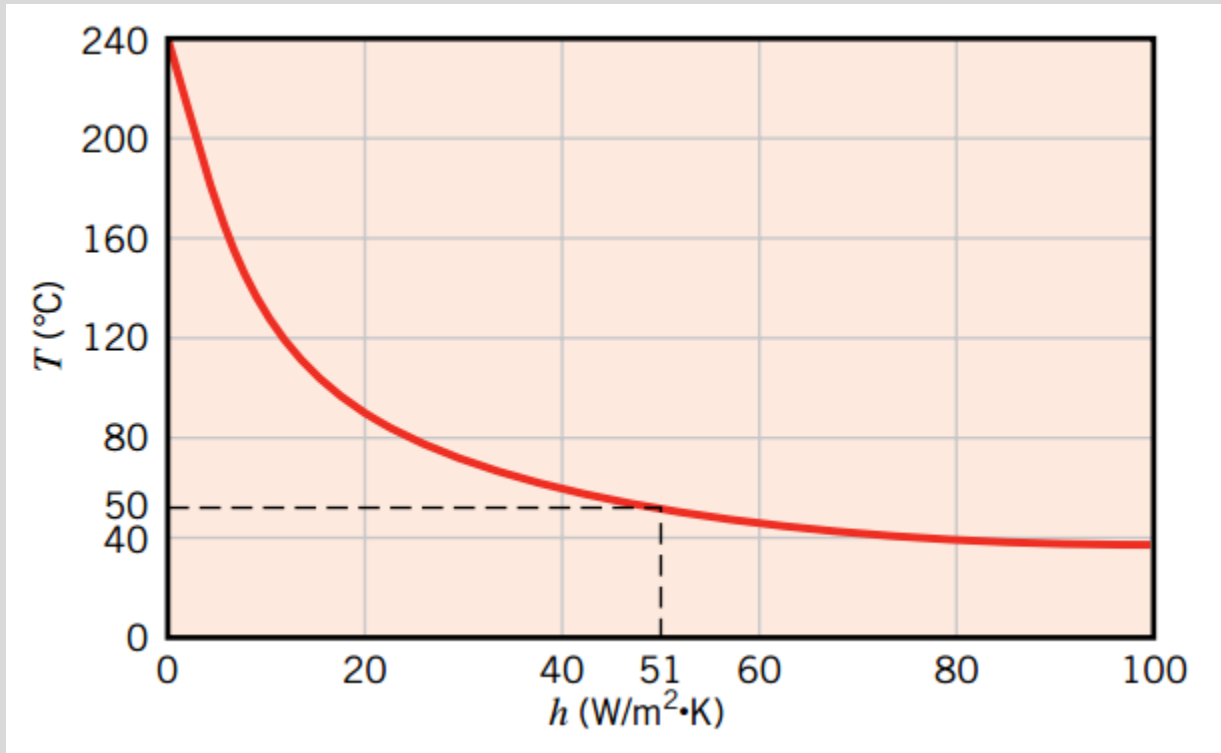
## Örnek 1.6

Bir levha üzerindeki kaplama, bir kızılaltı lamba ile, ısı işleme tabi tutulmaktadır. Yüzeyle gelen ışınım  $2000 \text{ W/m}^2$  dir. Yüzey, gelen ışınımın %80'ini yutmaktadır ve 0.5 yayma oranına sahiptir. Yüzeyle temas eden ortam havasının ve gördüğü çevre yüzeylerinin sıcaklıkları, sırası ile,  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  ve  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  değerlerindedir.

- Levha ile ortam havası arasındaki ısı taşınım katsayısı  $15 \text{ W/m}^2\text{K}$  ise, levhanın işlem sıcaklığı nedir?
- $2 \leq h \leq 200 \text{ W/m}^2\text{K}$  için, hava hızının ve dolayısıyla da ısı taşınım katsayısının işlem sıcaklığı üzerindeki etkisini gösteriniz.

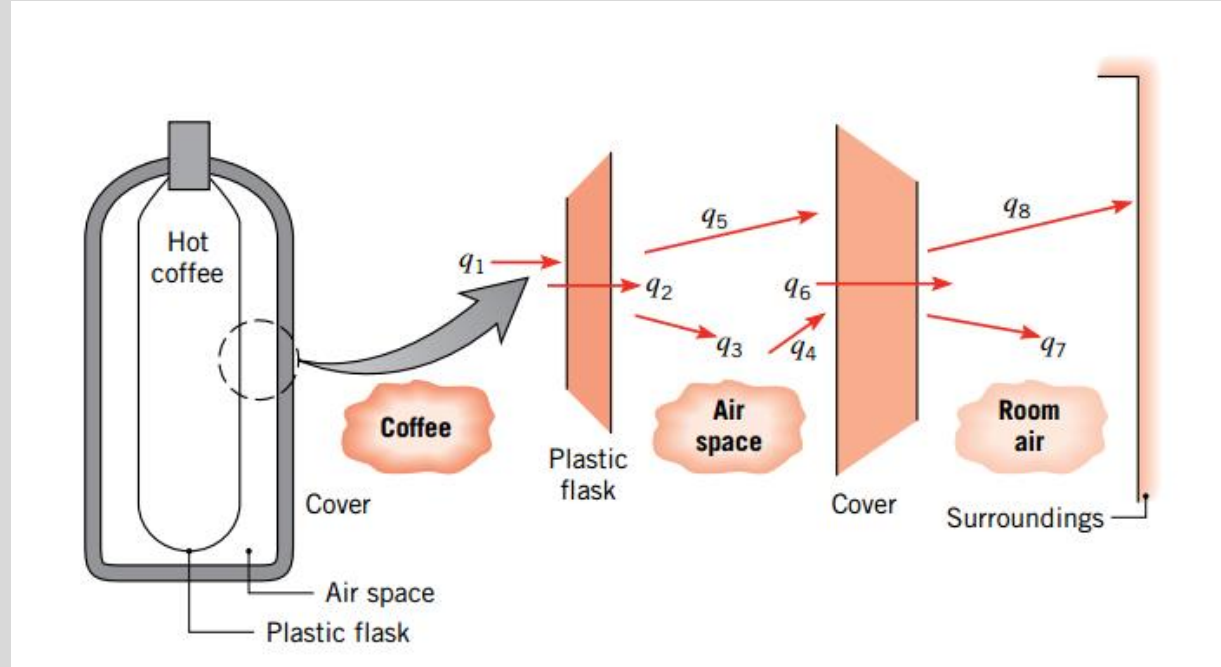
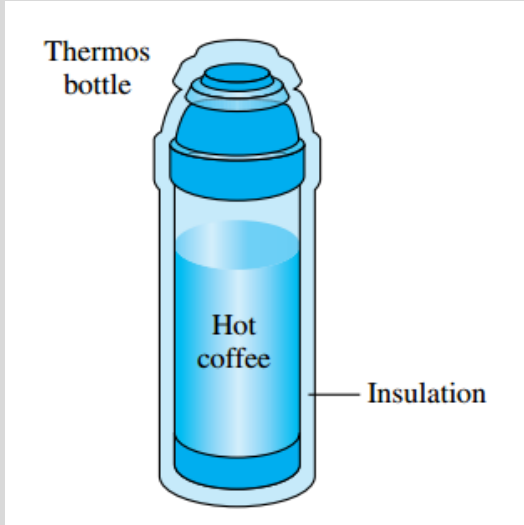


## Örnek 1.6



## Örnek 1.7

İçinde sıcak kahve olan bir termos, ortam havasının ve duvarlarının sıcaklıkları sabit olan bir oda içerisinde bulunmaktadır. Kahvenin soğumasına katkıda bulunan tüm ısı geçiş mekanizmalarını belirleyiniz. Daha iyi bir termos tasarlamayı sağlayacak düzenlemeleri tartışınız.



### Örnek 1.8

Bir giysi kurutucusunun sıcaklık kontrolü, kurutucu cidarı üzerine yapıştırılan yalıtım yastığının üzerindeki elektrikli ısıtıcıya tutturulmuş olan bimetalik bir anahtar ile sağlanmaktadır. Anahtar, en yüksek kurutma havası sıcaklığı olan  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de açılmak üzere ayarlanmıştır. Kurutucunun, hava sıcaklığı  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  olan bir ortamda kurutma işlemine başladığında, kurutucu yüzey sıcaklığının  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  kalabilmesi için ısıtıcının sağlaması gereken ekstra güç nedir? Bimetalik anahtarın yüzey alanı  $30\text{ mm}^2$  ve yüzey ile ortam havası arasındaki ısı taşınım katsayısı  $25\text{ W/m}^2\text{K}$  dir.

