

Isı Transferi Ders Notları

Bölüm 1: Isı Geçişi

Prof.Dr. Muhammet KAYFECİ

Kaynaklar

- Afshin J. Ghajar, Yunus A. ÇENGEL, Isı ve Kütle Transferi, Palme Yayınevi, Türkçe Çeviri, 2015.
- Fethi HALICI, Mehmet GÜNDÜZ, Örneklerle Isı Geçişi Isı transferi, Birsen Yayınevi, 2010.
- Adrienne S. Lavine, David P. DeWitt, Frank P. Incropera, Theodore L.Bergman, Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Palme Yayıncılık, Türkçe Çeviri, 2015

İçindekiler

✓ ISI GEÇİŞİNİN TANIMI

- GİRİŞ

- İLETİM İLE ISI GEÇİŞİ VE FOURIER ISI İLETİM KANUNU

- Isı iletim katsayısı

- Isı geçişi problemlerinde yapılabilecek kabuller

- Düzlem duvarda iletim ile ısı geçişi

- TAŞINIM İLE ISI GEÇİŞİ VE NEWTON'UN SOĞUMA KANUNU

- IŞINIM İLE ISI GEÇİŞİ VE STEFAN-BOLTZMANN KANUNU ENERJİ DENGESİ

✓BİR BOYUTLU ISI İLETİMİ

○DÜZLEM DUVARDA ISI İLETİMİ

- Isı geçişine ısı iletim katsayısının sıcaklık ile değişiminin etkisi
- Isıl direnç tanımı

○BİRLEŞİK DÜZLEM DUVARLARDA ISI GEÇİŞİ

- Toplam ısı geçiş katsayısı
- Karmaşık düzlem duvarlarda ısı geçişi
- Temas ısıl direnci
- Kirlilik ısıl direnci
- Isı köprüleri

○SİLİNDİRİK YÜZEYLERDE ISI İLETİMİ

○BİRLEŞİK SİLİNDİRİK YÜZEYLERDE ISI GEÇİŞİ

- Boru üzerine yapılan yalıtımın kritik yarıçapı

○KÜRESEL YÜZEYLERDE RADYAL ISI İLETİMİ

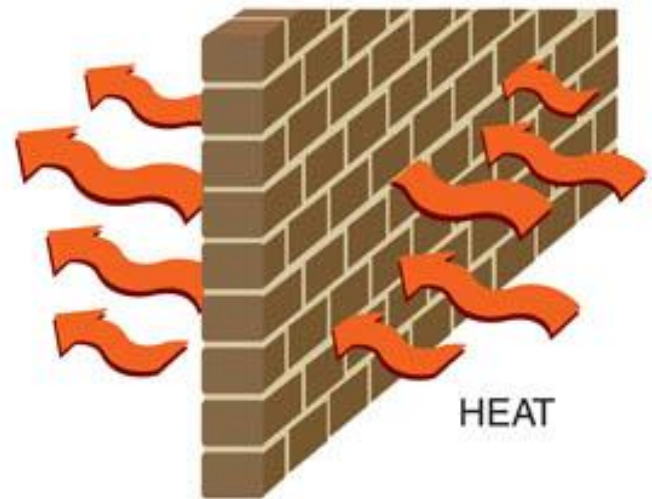
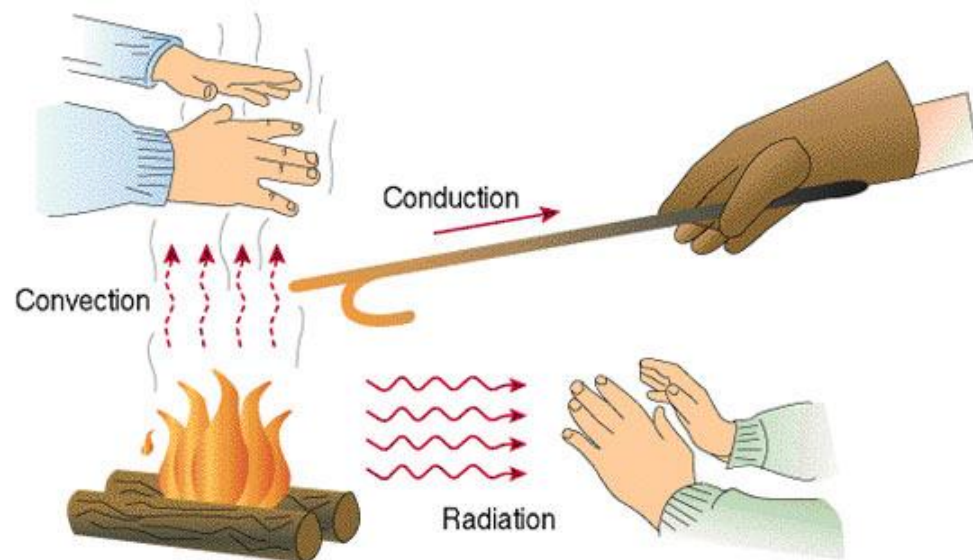
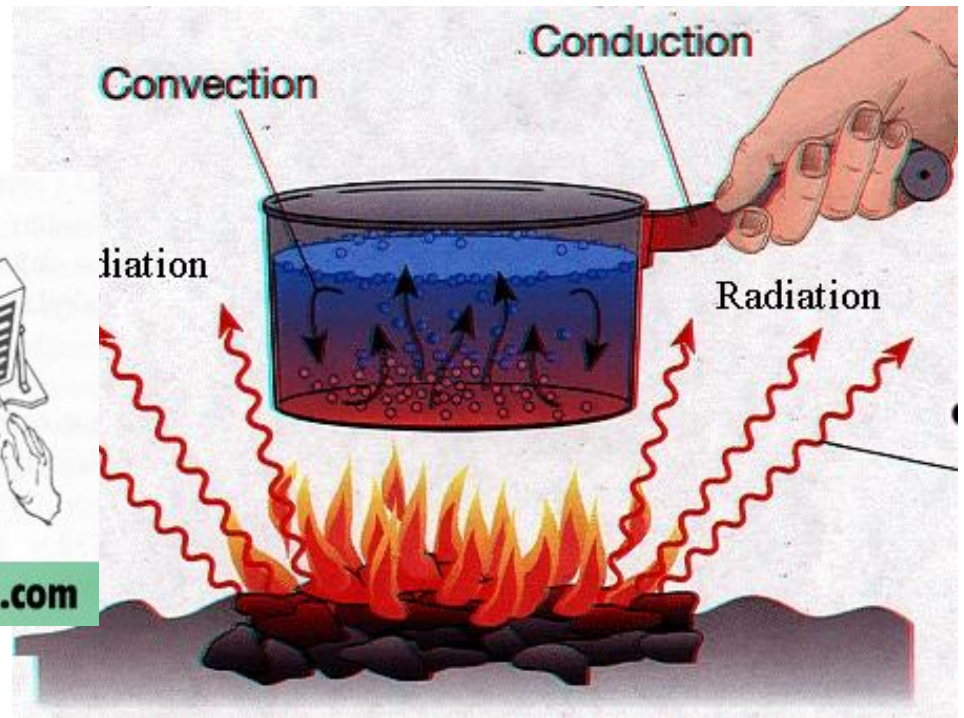
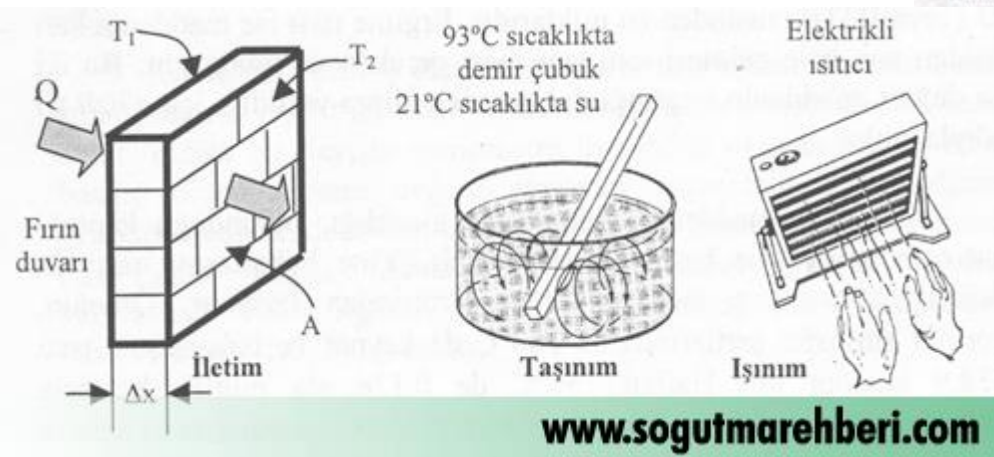
○BİRLEŞİK KÜRESEL YÜZEYLERDE ISI GEÇİŞİ

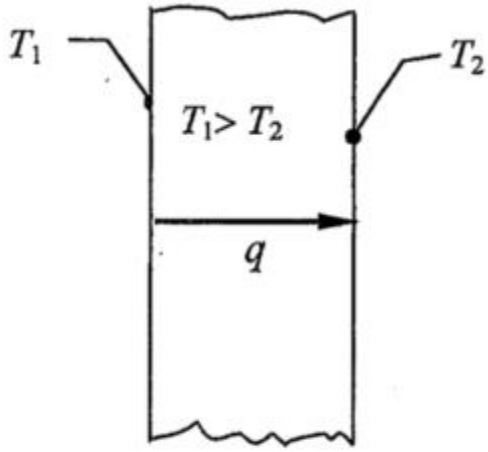
- Isı geçişi sıcaklık farkından dolayı sistem ve çevresi, yada maddeler arasında meydana gelen enerji akışını araştıran bir bilim dalıdır.
- Madde alış verişi olmaksızın sadece sıcaklık farkından dolayı meydana gelen bu enerji geçişi, ısı geçişi olarak tanımlanır.
- Termodinamiğin ikinci kanununun sonucuna göre; ısı sıcak bir sistemden daha soğuk bir sisteme doğru kendiliğinden akar.
- Termodinamik, bu ısı geçişinin nasıl ve ne hızda olduğunu açıklamaz. Çünkü termodinamikte zaman bir değişken olarak ele alınmaz.
- Termodinamik denge durumundaki sistemler ile ilgilenir. Ayrıca termodinamik konusu herhangi bir hal değişimleri esnasındaki ısı alış verişinin nasıl ve ne şekilde gerçekleştiğini incelemeyiz. Bunları inceleyen bilim dalı Isı Geçişi (Transferi) bilim dalıdır.
- Isı geçişi günlük hayatımızın vazgeçilmez bir parçasıdır. Örneğin yemeğin ateş üzerinde pişirilmesi, fırınlar, sac kurutma makineleri, kombiler, kalorifer Ve buhar kazanları, konutların ısıtılması ve soğutulması, iklimlendirme ve havalandırma, konutların ısı yalıtımı ve benzeri birçok konular, ısı geçişi bilim daimin uygulamaları içerisindeyir.
- Geçen ısı doğrudan doğruya ölçülemez ve gözlenemez, ama meydana getirdiği tesirler gözlenebilir ve ölçülebilir. Örneğin ısı enerjisi verilen bir cismin, sıcaklığının yükselmesi gibi.
- Isı geçişi bilim dalı, termodinamiğin birinci ve ikinci, kütleinin korunumu ve Newton'un ikinci hareket kanunlarına ilave üç özel kanun yardımı ile, ısı geçişi olayının yapısını inceleyerek, ısı geçişini etkileyen büyüklükleri belirler ve bu büyüklükler arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak ifade eder.
- **Çözüm yöntemi olarak da analitik, sayısal, deneysel ve benzeşim yöntemlerini kullanır.**

Isı geçişi üç şekilde gerçekleşir. Bunlar;

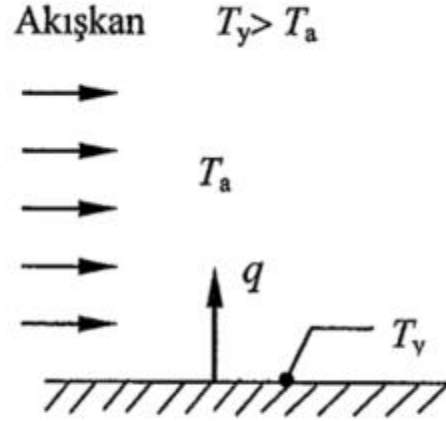
1. Isı iletimi (Kondüksiyon)
2. Isı taşıınımı (Konveksiyon)
3. Isı ışıınımı (Radyasyon)

- Herhangi bir ısı geçişi olayı; bu üç şeklin birisi ile, herhangi ikisi ile yada üçü ile birlikte meydana gelebilir.
- Genel olarak katı cisimlerde, ısı enerjisinin serbest elektron hareketiyle bir molekülden yada atomdan diğeriine geçmesi ile meydana gelen ısı geçişine **ısı iletimi**,
- sıvı ve gazlarda ısı enerjisinin, moleküllerin hareketleri sonucu nakledilmesi ile oluşan ısı geçişine ısı taşıımım
- Katıların, sıvıların ve gazların ısı enerjisini elektro manyetik dalgalar şeklinde yayınladıkları veya yuttukları ısı geçiş şekline de ısı ışıınımı denir.

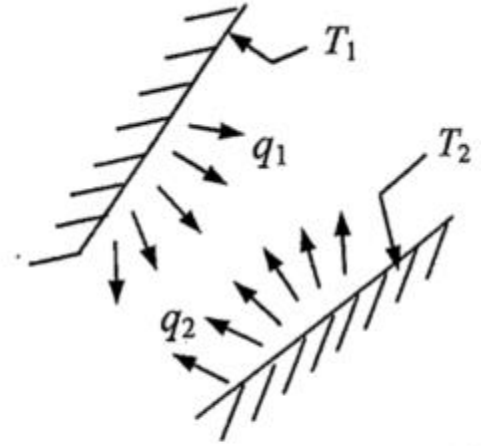




(a) Katı cisim içinde ısı iletimi (Demir, Bakır, Ağaç, Beton, v.b)



(b) Yüzey ile akışkan arasında ısı taşınımı (yüzey ile su, yağ, vb.)



(c) İki yüzey arasında ısı ışıınımı

1.2. İLETİM İLE ISI GEÇİŞİ VE FOURIER ISI İLETİM KANUNU

- Bir cisim içinde sıcaklık basamağı meydana geldiğinde, yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru enerji akışı meydana gelir. Bu cisim katı, sıvı ve gaz olabilir.
- Sıvı ve gazlarda atom ve moleküllerin hareket etmeksizin birbirlerine teması sonucu sıcaklık farkından dolayı, ısı enerjisinin geçmesi de ısı iletimi ile gerçekleşmektedir.
- İletim ile geçen ısı enerjisini ilk ifade eden J. B. Fourier (1822) olduğundan, bu ifadeye Fourier ısı iletim kanunu denir.

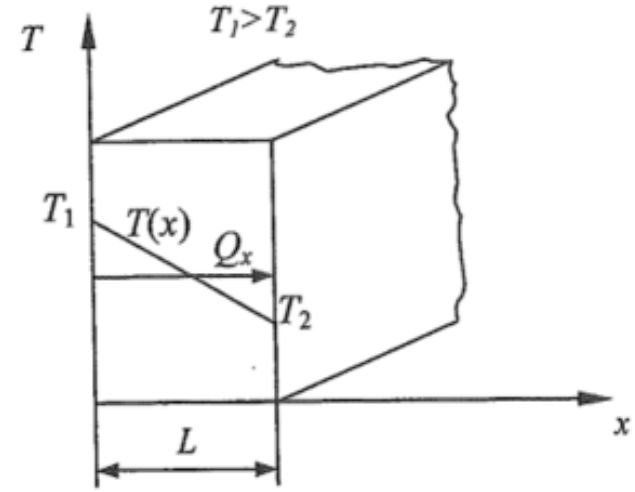
$$\text{İletim ile geçen ısı} \approx \frac{\text{Alan x Sıcaklık farkı}}{\text{Cismin kalınlığı}}$$

dır. Bu ifade diferansiyel olarak yazılırsa;

$$Q_x \approx A \frac{dT}{dx}$$

olur. Orantı sabiti konulduğunda,

$$Q_x = -k A \frac{dT}{dx} \quad (1.1)$$



Şekil 1.2 Bir boyutlu ısı iletimi.

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntı ilk olarak 1822'de Fransız bilim adamı J.B. Fourier tarafından bulunduğu için, Fourier ısı iletim kanunu adını alır. Bu ifadede:

Q_x :Birim zamanda geçen ısı miktarı, [W]

A :Isı geçişi yönüne dik yüzey alanı, [m²]

k :Pozitif orantı sabiti olup, malzemelerin **ısı iletim katsayısı** olarak adlandırılır.

$\frac{dT}{dx}$:Isı geçişi yönündeki sıcaklık basamağı (gradyanı), [K/m]. dT/dx aynı zamanda T_1 ve

T_2 'den geçen doğrunun eğimidir ve bu eğim şekilde görüldüğü gibi negatif bir eğimdir.

(-) :Eksi işareti ısı geçişi düşük sıcaklığın yönüne doğru olduğundan geçen ısı miktarı Q_x ' i pozitif yapmak için konulmuştur. Çünkü dT/dx 'in değeri negatiftir.

1.2.1 Isı iletim katsayısı

- *Isı iletim katsayısı (k) birim kalınlıktaki bir cismin, birim yüzeyinden birim zamanda cismin iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının 1°C olması halinde geçen ısı miktarıdır.*
- Isı iletim katsayısı her madde için farklı değerlerde olup, malzemenin bileşimine, gözenekli olup olmamasına, malzeme içindeki neme, ısıнын geçtiği yöne ve benzeri fiziksel ve metalürjik etkenlere bağlı olarak değişmektedir.
- Isı iletim katsayısının, cismin içinde her yönde aynı olduğu cisimlere izotrop cisim denir.

Örneğin çelik, alüminyum, bakır gibi malzemeler **izotrop**, Tuğla, briket ve betonarme gibi malzemeler **izotrop** olmayan malzemelerdir.

- Çünkü bu tür malzemelerde yönler göre malzeme cinsleri, kalınlıkları yada gözenek yapısı değiştiğinden, ısı iletim katsayıları da yöne göre değişir.
- Isı iletim katsayısının birimi SI birim sisteminde $[\text{W}/\text{mK}]$ dir. Uygulamalarda $[\text{kcal}/\text{mh}^{\circ}\text{C}]$ birimi de kullanılmaktadır. $1 \text{ kcal}/\text{mh}^{\circ}\text{C} = 1,163 \text{ W}/\text{mK}$ dir.

Maddelerin fiziksel ve metalurjik özelliklerinin, ısı iletim katsayısına etkileri:

- Saf metallerde ısı iletim katsayısı sıcaklık arttıkça azalır.
- Alaşımlarda ve yalıtım malzemelerinde ısı iletim katsayısı, sıcaklık arttıkça artar.
- Isı yalıtım malzemelerinde yoğunluk ve sıcaklık arttıkça ısı iletim katsayısı artar.
- Gazlarda sıcaklık arttıkça gaz moleküllerinin hareketi arttığından dolayı ısı iletim katsayısı artmaktadır.
- Sıvılarda sıcaklık arttıkça, çoğu sıvının ısı iletim katsayısı azalmakla birlikte bazı sıvılarınki artmaktadır. Suyun ısı iletim katsayısı, suyun sıcaklığı yaklaşık 140°C'a ısıtılınca kadar artmakta daha sonra azalmaya başlamaktadır.
- Saf bir maddenin ısı iletim katsayısı, eğer içerisine başka bir bileşen ilave edilirse azalır.
- Nem, genellikle bütün malzemelerin ısı iletim katsayısını artırır.

Çizelge 1.1 Isıyı en iyi ileten bazı metallerin 25 °C' taki ısı iletim katsayıları:

<u>Metaller</u>	<u>k (W/mK)</u>
Gümüş	410
Saf bakır	395
Ticari bakır	372
Altın	310
Alüminyum	229

Çizelge 1.2' den anlaşıldığı gibi ısıyı en çok saf metaller iletmekte bunlardan sonra alaşımlar, sıvı metaller, su, yağlar ve gazlar gelmektedir. Görüldüğü gibi gazlar ısıyı en az ileten maddelerdir. Buradaki sıvı metaller, sodyum ve potasyum gibi alkali metallerin sıvı fazlarını içermektedir

Çizelge 1.2. Çeşitli maddelerin ısı iletim katsayılarının mertebeleri:

<u>Maddeler</u>	<u>Isı iletim katsayısı k, (W/mK)</u>
Gazlar	0,002 - 0,2
Yağlar	0,1 - 1,0
Su	0,5 - 0,7
Sıvı metaller	10 - 100
Katılar (metal olmayan)	0,03 - 3,0
Katılar (alaşımlar)	20 - 200
Saf metaller	40 - 400

1.2.2 Isı geçişi problemlerinde yapılabilecek kabuller

Çoğu zaman, ısı geçişine birçok değişken etki ettiğinden, problemin çözümünü tam

olarak yapmak hemen hemen imkansızdır. Bu gibi durumlarda bazı kabuller yapıp, problem basite indirgenerek özölür. Bu kabuller bilgi ve tecrübeye göre yapılmalıdır.

Başlıca yapılabilecek kabuller su şekilde sıralanabilir:

1. Cismin termofiziksel özelliklerinin sabit olup olmadığı, (k , μ , c_p , ρ v.b.)

2. Isı geçişinin kaç boyutlu olduğu; Örneğin;

Bir boyutlu

İki boyutlu

Üç boyutlu

3. Cismin içinde sıcaklık dağılımının olup olmadığı,

4. Cismin geometrisinin belirlenmesi; Örneğin;

Düzlem duvar (levha)

Silindirik yüzeyler

Küresel yüzeyler

5. Isı geçişinin zamana bağlı olup olmadığı; Örneğin;

Sabit rejim hali (Devamlı rejim, Kararlı rejim)

Zamana bağlı rejim hali (Geçici rejim, Kararsız rejim)

6. Cismin içinde ısı üretiminin olup olmadığı hal.

1.2.3 Düzlem duvarda iletim ile ısı geçişi

- ❑ Isı geçişi doğrultuya, yöne ve şiddete sahip olduğundan vektörel bir büyüklüktür.
- ❑ Basit geometrilerden, iki yüzeyi farklı sıcaklığa sahip olan düzlem duvarda (levhada) geçen ısı miktarı, Fourier ısı iletim kanununa göre hesaplanabilir.

Problemin çözümünde yapılan kabuller şu şekilde sıralanabilir;

- ✓ Isı geçişi bir boyutlu (x yönünde)
- ✓ Duvar içinde ısı kaynağı yok
- ✓ Malzeme özellikleri sabit ($k = \text{sabit}$)
- ✓ Sabit rejim (zamana bağlı değil yani zamanla cismin sıcaklıkları değişmiyor)

Düzlem duvarda, x yönünde geçen ısı miktarı Fourier ısı iletim kanununa göre;

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx}$$

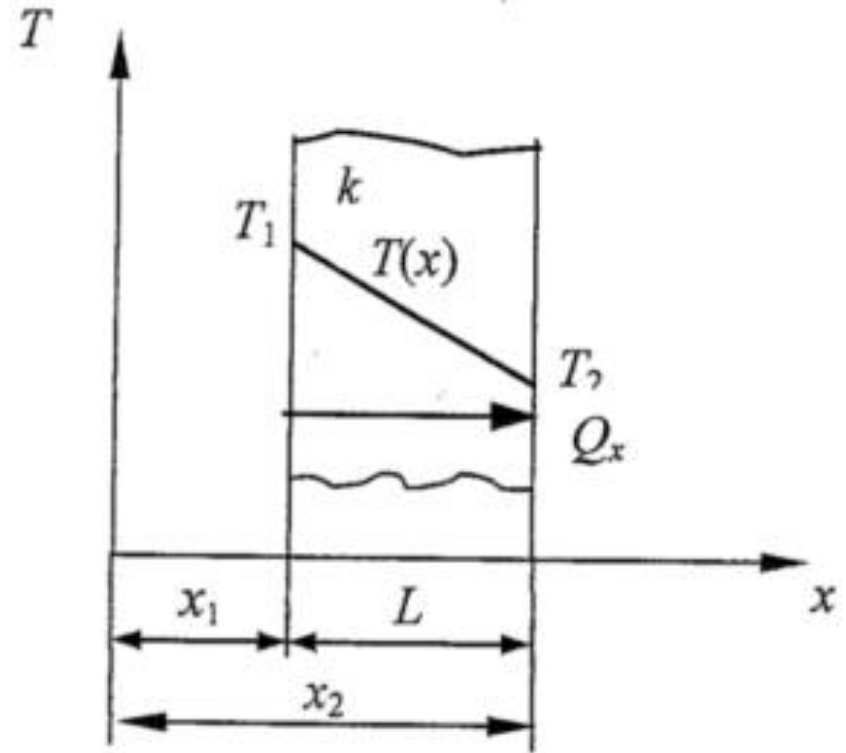
dir. Yukarıda yapılan kabullere göre, $Q_x = sbt$, $k = sbt$ ve $A = sbt$ olduğundan bu ifadenin integrali alınırsa,

$$Q_x \int_{x_1}^{x_2} dx = -kA \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$Q_x (x_2 - x_1) = -kA (T_2 - T_1)$$

bulunur, buradan da geçen ısı miktarı için,

$$Q_x = -kA \frac{T_2 - T_1}{x_2 - x_1} = kA \frac{T_1 - T_2}{x_2 - x_1}$$



bağıntısı bulunur. Burada sıcaklık farkı $\Delta T = T_1 - T_2$ ve duvar kalınlığı $L = x_2 - x_1$ olduğu dikkate alındığında, daha genel olarak geçen ısı miktarı,

$$Q_x = k A \frac{T_1 - T_2}{L} = k A \frac{\Delta T}{L} \quad (1.2)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Isı Akısı : Birim yüzeyden birim zamanda geçen ısı miktarına *ısı akısı* (q) denir. Birimi, $[W/m^2]$ yada $[kcal/hm^2]$ dir. Bu tanıma göre ısı akısı,

$$q = \frac{Q}{A} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (1.3)$$

şeklinde hesaplanır.

ÖRNEK: Şekilde gösterilen 15 cm kalınlığında ateş tuğlasından örülen bir fırının duvarının, 3mx0,5m'lik kısmından olan ısı geçişini ve bu duvarın ısı akışını hesaplayınız? Duvarın ısı iletim katsayısı $k = 1,7 \text{ W/mK}$, duvarın iç yüzey sıcaklığı $T_1 = 1400 \text{ °C}$ ve dış yüzey sıcaklığı $T_2 = 1150 \text{ °C}$ dir.

Çözüm:

Verilenler:

$$k = 1,7 \text{ W/mK}$$

$$T_1 = 1400 \text{ K}$$

$$T_2 = 1150 \text{ K}$$

Kabuller:

1. Sabit rejim
2. Bir boyutlu ısı iletimi
3. Özellikler sabit
- 4: Duvar içinde ısı üretimi yok

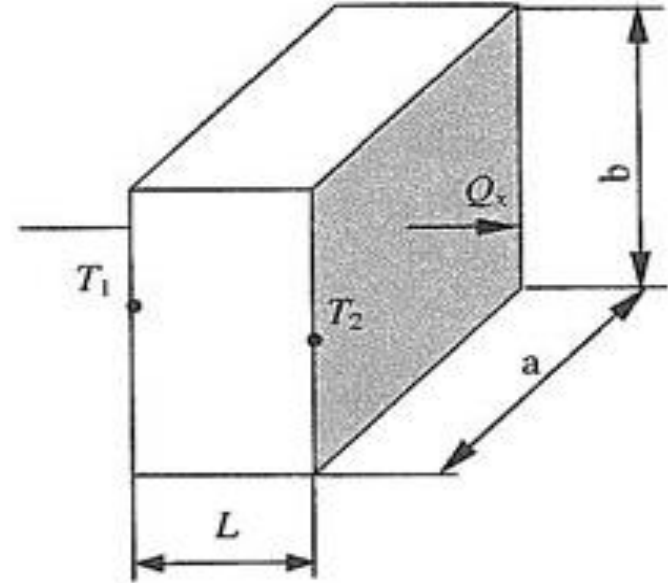
Denklem (1.2) kullanılarak geçen ısı miktarı;

$$Q_x = kA \frac{T_1 - T_2}{L}$$

ve buradan,

$$Q_x = 1,7 \times 3 \times 0,5 \frac{1400 - 1150}{0,15}$$

$$Q_x = 4250 \text{ W}$$



bulunur. Denklem 1.3 kullanılarak ısı akısı;

$$q_x = \frac{Q}{A} = k \frac{\Delta T}{L} = 1,7 \frac{1400 - 1150}{0,15}$$

$$q_x = 2833 \text{ W/m}^2$$

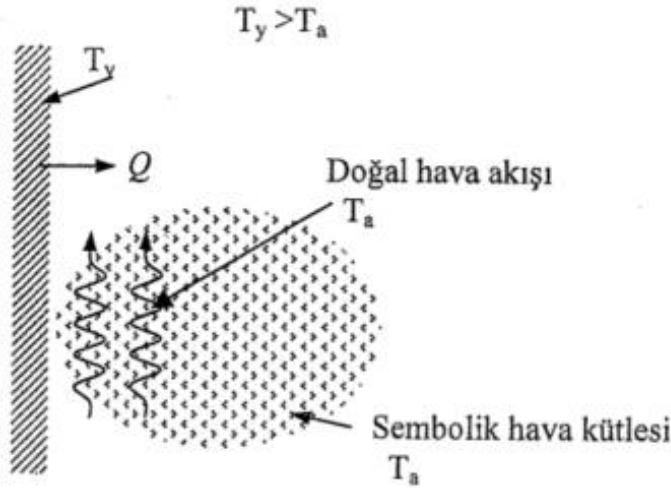
dır.

1.3 TAŞINIM İLE ISI GEÇİŞİ VE NEWTON'UN SOĞUMA KANUNU

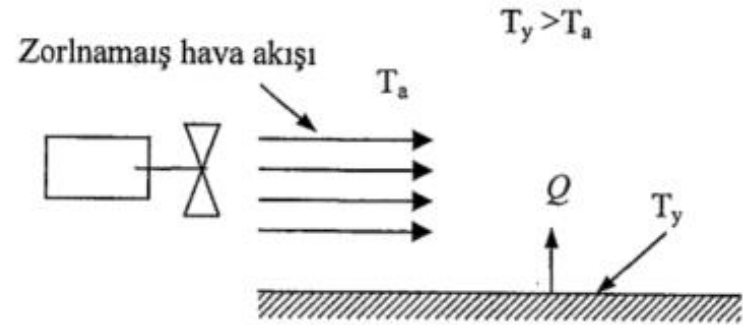
- Hareketli bir akışkan ile katı yüzey arasında meydana gelen ısı transfer şeklidir.

Isı taşınımı akışın yapısına göre sınıflandırılır.

- Bu ısı taşınım şeklinde, akışkan içinde sıcaklık farkından meydana gelen yoğunluk farkından dolayı, hareket eden akışkan molekülleri ısıyı taşımaktadır. Isınan akışkanın yoğunluğu azalır ve kaldırma kuvvetleri etkisi ile yukarıya doğru hareket eder. Soğuk bir yüzeyde ise akışkan molekülleri yoğunlaşır ve hareket aşağıya doğru gerçekleşir. Buna **doğal ısı taşınımı** denir(Şekil a).
- Eğer akışkan bir pompa, vantilatör ve benzeri cihazlarla yada rüzgar tarafından zorlanmış harekete maruz kalıyor ise, yani akışkan hareketli ise, bu akışkandaki ısı taşınımına **zorlanmış ısı taşınımı** denir(Şekil b).



a) Doğal ısı taşınımı



b) Zorlanmış ısı taşınımı

T_y sıcaklığındaki yüzey ile temasta bulunan T_a sıcaklığındaki akışkan arasındaki ısı geçişi ifadesi 1701 senesinde Newton tarafından verilmiştir. Bu ifade aşağıdaki gibi olup, Newton'un soğuma kanunu olarak adlandırılır.

$$Q = h A(T_y - T_a) \quad (1.4)$$

- Isı taşınım katsayısı bazı sistemler için analitik olarak hesaplanabilir, karmaşık sistemler için ise deneysel olarak tespit edilmektedir.
- Deneyler ısı taşınım katsayısının; akışkanın cinsine ve fiziksel özelliklerine, akışkanın hareketli olup olmadığına, yüzey ve akışkanın geometrik ilişkisi v.b. gibi bir çok etkene bağlı olduğunu göstermiştir.
- Isı taşınım katsayısının SI birim sistemindeki birimi,

$$h = \frac{Q}{A\Delta T} = \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Uygulamalarda [kcal/m²h°C] birimi de kullanılmaktadır. Tanım olarak ısı taşınım katsayısı, yüzey ile akışkan arasında 1 K (1°C) sıcaklık farkı olması halinde, birim alandan taşınım ile geçen ısı miktarıdır. 1 K'lık sıcaklık farkı ile 1 °C'lık sıcaklık farkı birbirine eşit olduğundan 1 W/m²K = 1 W/m²°C olur.

Isı iletim katsayısı için: 1 Kcal/mh°C = 1,163 W/mK = 1,163 W/m °C

Isı taşınım katsayısı için: 1 Kcal/m²h°C = 1,163 W/m²K = 1,163 W/m °C

Çizelge 1.3. Bazı akışkanlar için ısı taşınım katsayısının ortalama değerleri:

<u>Akışkanlar</u>	<u>Doğal taşınım[W/m²K]</u>	<u>Zorlanmış taşınım[W/m²K]</u>
Gazlar	5 ÷ 30	30 ÷ 300
Yağlar	5 ÷ 100	50 ÷ 3000
Su (tek faz)	30 ÷ 300	300 ÷ 10000
Sıvı metaller	50 ÷ 500	500 ÷ 20000
Kaynayan su	2000 ÷ 20000	3000 ÷ 100000
Yoğuşan su	3000 ÷ 30000	3000 ÷ 200000

Örnek: 20 °C'taki hava, 250 °C'taki 0,5m x 0,75m boyutundaki bir levha üzerinden akmaktadır. Levha ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısı 25 W/m²K olduğuna göre geçen ısı miktarını ve ısı akışını hesaplayınız?

Çözüm: Newton' un soğuma kanunu kullanılarak, taşınım ile geçen ısı miktarı,

$$Q = hA(T_y - T_a)$$

dir. Değerler yerlerine konulursa,

$$Q = 25 \times 0,5 \times 0,75 (250 - 20)$$

$$Q = 2156 \text{ W}$$

bulunur. Isı akısı;

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{2156}{0,5 \times 0,75}$$

$$q = 5749 \text{ W}$$

1.4 IŞINIM İLE ISI GEÇİŞİ VE STEFAN-BOLTZMANN KANUNU

- Sonlu sıcaklıktaki her bir cisim, atomlarının yada moleküllerinin elektron yapılarındaki değişim hareketinden dolayı, elektro manyetik dalga yayar.
- Sıcaklığın artması elektron, atom ve moleküllerin hareketini arttırdığından elektro manyetik dalga şiddetini yani ısı ışınımını arttırmaktadır. Bu ısı ışınımı, sıfır Kelvin sıcaklığından itibaren her sıcaklıkta meydana gelmektedir.
- Bazı cisimler ısı ışınımını yutar, bazıları yansıtır, bazıları da içlerinden serbestçe geçirir.
- İdeal bir boşlukta ısı iletiminin ve ısı taşınımının olmamasına karşılık ısı ışınımı olmaktadır. Örneğin güneş enerjisi dünyamıza ışınlama ile gelmektedir.
- Siyah cisimden yayılan ısı ışınımı bağıntısını 1879'da Stefan ampirik olarak bulmuştur. Boltzmann da 1884'de termodinamiğin birinci kanunu ve fiziksel bağıntılardan faydalanarak aynı ifadeyi teorik olarak çıkarmıştır. Bu yüzden bu ifadeye Stefan-Boltzmann ısı ışınımı kanunu denir.

$$Q_s = \sigma A T_y^4 \quad (1.5)$$

Isı ışıınımı ile yayılan ısı enerjisi, alanla doğru orantılı, mutlak sıcaklığın (Kelvin) ise dördüncü kuvveti ile orantılıdır. Isı ışıınımının mutlak sıcaklığın dördüncü kuvveti ile orantılı olması, sıcaklık büyüdükçe ışıınımla geçen ısıнын çok daha fazla arttığını gösterir. Bağıntıda:

Q_s : Siyah cimin ışıınım enerjisi

σ : Orantı katsayısı olup *Stefan-Boltzman* katsayısı adını alır. Değeri, SI birim sisteminde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ olup uygulamada $\sigma = 4,96 \times 10^{-8} \text{ kcal/m}^2\text{hK}^4$ değeri de kullanılmaktadır.

T_y : Yüzeyin mutlak sıcaklığı, [K], ($T_y(\text{K}) = 273,15 + T_y(^{\circ}\text{C})$).

A : Isı ışıınımı yayan yüzeyin alanı [m^2].

Yukarıdaki ifade sadece ideal siyah cisimler için geçerlidir. Eğer siyah cisim başka bir siyah cisim ile çevrili ise, içteki cisimden dıştaki cisme net ısı ışıınımı;

$$Q = \sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (1.6)$$

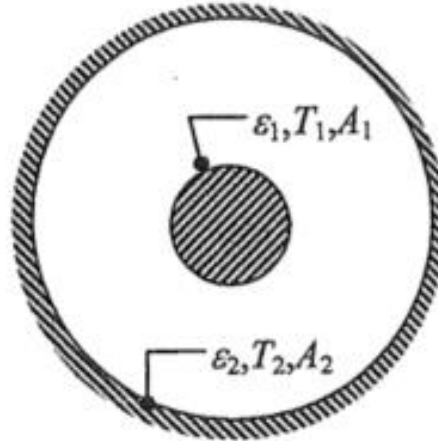
şeklinde hesaplanır. Buradaki içteki cismin yüzey alanı, T_1 içteki cismin ve T_2 dıştaki cismin sıcaklıklarıdır.

Siyah olmayan yani gerçek cisimlerde, ısı ışınımı ideal siyah cismin yaydığı ışınım enerjisinden daha azdır. Gerçek cismin yaydığı ısı ışınımı,

$$Q = \sigma \varepsilon A T_y^4 \quad (1.7)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada ε , gerçek (gri) cismin ışınım yayma katsayısıdır ve değeri $0 < \varepsilon < 1$ dir. Siyah cismin ışınım yayma katsayısı $\varepsilon = 1$ ' dir. Gerçek cisim, yine gerçek cisim ile çevrili ise ve dıştaki cismin alanı içtekine göre çok büyük ise içteki cisimden dıştaki cisme net ısı ışınımı;

$$Q_{12} = \sigma \varepsilon_1 A_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (1.8)$$



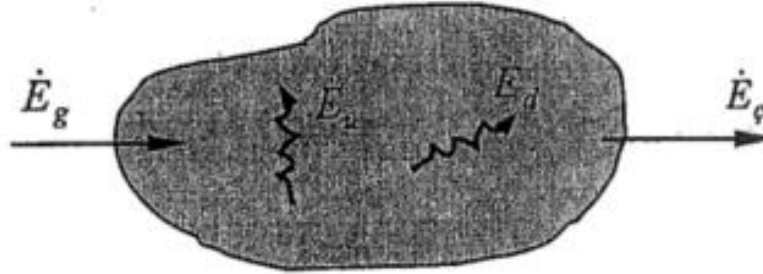
bağıntısı ile bulunur. Bu bağıntı dıştaki cisimden içteki cisme ışınlımla ısı geişı hesabı için kullanılamaz.

1.5 ENERJİ DENGESİ

Bir çok ısı geçişi problemi, enerji dengesine (korunumuna) dayanılarak öz÷lmektedir. Enerjinin korunumunu termodinamiğın birinci kanunu açıklamaktadır. Şekilde gösterildiğı gibi bir kontrol hacmi göz önüne alınsın.

Bu kontrol hacmine giren enerji $\dot{E}_g$, çıkan enerji $\dot{E}_ç$, kontrol hacmi içerisinde üretilen enerji $\dot{E}_a$ ve kontrol hacminde depo edilen enerji $\Delta\dot{E}_d$ ile gösterilirse, kontrol hacmi için enerji dengesi termodinamiğın birinci kanununa göre;

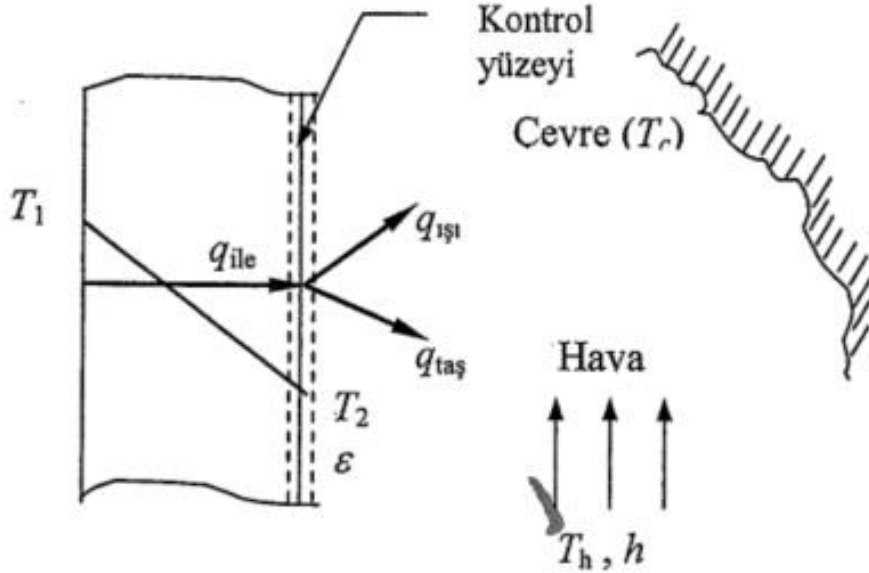
$$\dot{E}_g + \dot{E}_a - \dot{E}_ç = \Delta\dot{E}_d \quad (1.9)$$



Şekil 1.6 Kontrol hacmi için enerji dengesi.

Denge halinde cismin içinden yüzeyine iletimle gelen ısı, yüzeyden akışkana taşınım ve yüzeyden çevreye ışınlama ile geçen ısıların toplamı olur.

Birim alan için kontrol yüzeyindeki enerji dengesi aşağıdaki gibi ifade edilir.



Şekil 1.7 Kontrol yüzeyinde enerji dengesi.

$$\dot{q}_{ile} - \dot{q}_{taş} - \dot{q}_{ışı} = 0$$

yada;

$$\dot{q}_{ile} = \dot{q}_{taş} + \dot{q}_{ışı}$$

$$k \frac{T_1 - T_2}{L} = h (T_2 - T_h) + \sigma \varepsilon (T_2^4 - T_c^4)$$

ÖRNEK 1.3 Isı iletim katsayısı $1,2 \text{ W/mK}$ olan $0,15 \text{ m}$ kalınlığındaki bir fırın duvarının dış tarafındaki hava ve çevre sıcaklığı 25°C 'dir. Fırının dış yüzeyinin yayma katsayısı $0,8$, dış yüzey sıcaklığı 100°C ve dış yüzey ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısı $20 \text{ W/m}^2\text{K}$ olduğuna göre fırın duvarının iç yüzey sıcaklığını hesaplayınız.

Çözüm:

Verilenler:

$$k = 1,2 \text{ W/mK}$$

$$h = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$T_2 = 100^\circ\text{C}$$

$$T_h = T_c = 25^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon = 0,8$$

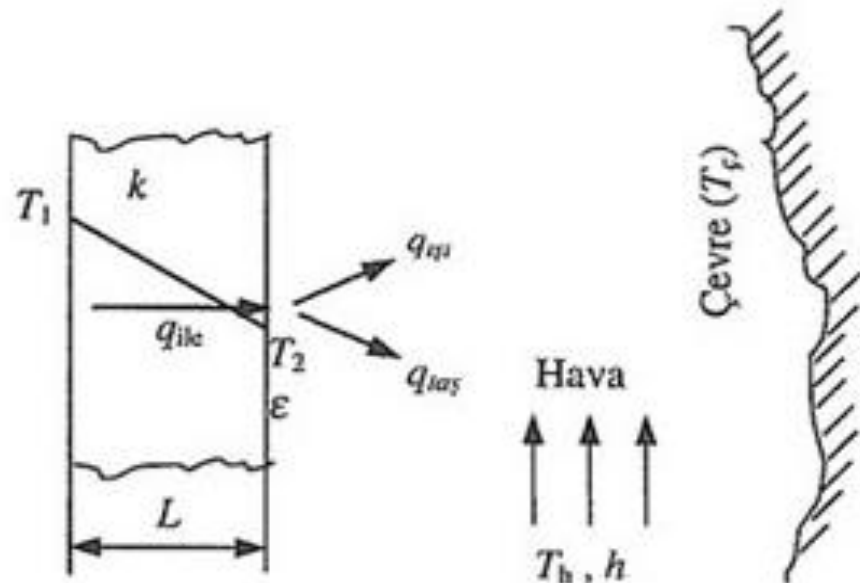
$$T_1 = ?$$

Kabuller:

1. Sabit rejim
2. Isı geçişi bir boyutlu
3. Isı üretimi yok
4. Isı ışıınımı duvarın dış yüzeyi ile bunu çevreleyen hava arasındadır.

Birim alan için kontrol yüzeyindeki enerji dengesi yazılırsa,

$$q_{ile} = q_{ış} + q_{taş}$$



dir. Birim alan için iletim (q_{ile}), taşınım ($q_{taş}$) ve ışıınım ($q_{ışl}$) ile olan ısı geçişleri yazılırsa;

$$k \frac{T_1 - T_2}{L} = h (T_2 - T_h) + \sigma \varepsilon (T_2^4 - T_c^4)$$

olur ve sayısal değerler yerlerine konulursa;

$$1,2 \frac{T_1 - 373}{0,15} = 20(373 - 298) + 5,67 \times 10^{-8} \times 0,8(373^4 - 298^4) = 2020 \text{ W/m}^2$$

olur. Buradan da fırın duvarının iç yüzey sıcaklığı

$$T_1 = \frac{0,15 \times 2020}{1,2} + 373$$

$$T_1 = 625,5 \text{ K} = 352,5^\circ\text{C}$$

bulunur.

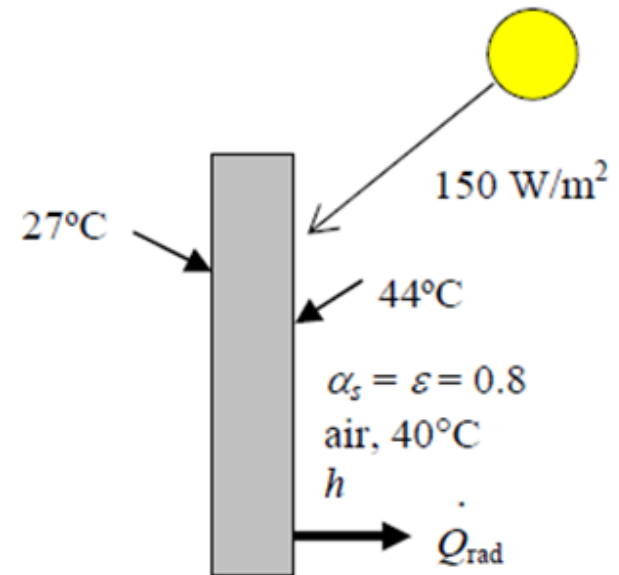
Örnek: Yazın, 25 cm kalınlıklı bir duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları sırasıyla 27°C ve 44°C 'dir. Dış duvar, 40°C sıcaklıktaki çevreyle ısıtım yoluyla; yine 40°C sıcaklıktaki çevre havasıyla 8 W/m²K 'lik taşıma ısı transfer katsayısıyla taşıma yoluyla ısı değiştirmektedir. Yüzeye gelen güneş ısıtım hızı 8 W/m²K dir. Dış yüzeyin yayıcılığı ve güneş ısıtım soğurgenliğinin ikisi de 0,8 olduğuna göre duvarın etkin ısı iletkenliğini bulunuz?

1-97 The outer surface of a wall is exposed to solar radiation. The effective thermal conductivity of the wall is to be determined.

Assumptions 1 Steady operating conditions exist. 2 The heat transfer coefficient is constant and uniform over the surface.

Properties Both the solar absorptivity and emissivity of the wall surface are given to be 0.8.

Analysis The heat transfer through the wall by conduction is equal to net heat transfer to the outer wall surface:



$$\dot{q}_{\text{cond}} = \dot{q}_{\text{conv}} + \dot{q}_{\text{rad}} + \dot{q}_{\text{solar}}$$

$$k \frac{T_2 - T_1}{L} = h(T_o - T_2) + \varepsilon \sigma (T_{\text{surr}}^4 - T_2^4) + \alpha_s q_{\text{solar}}$$

$$k \frac{(44 - 27)^{\circ}\text{C}}{0.25 \text{ m}} = (8 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})(40 - 44)^{\circ}\text{C} + (0.8)(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4) \left[(40 + 273 \text{ K})^4 - (44 + 273 \text{ K})^4 \right] + (0.8)(150 \text{ W/m}^2)$$

Solving for k gives

$$k = 0.961 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

Örnek: 1000 W 'lık bir ütü, tabanı 20°C sıcaklıkta havaya açık şekilde ütü masasına bırakılmıştır. Yayılcılığı 0,6 olan 0,02 m² 'lik ütü taban yüzeyi ile çevre havası arasında taşınım ısı transfer katsayısı 35 W/m²K olduğuna göre, ütünün taban sıcaklığını bulunuz?

Assumptions 1 Steady operating conditions exist. 2 The thermal properties of the iron base and the convection heat transfer coefficient are constant and uniform. 3 The temperature of the surrounding surfaces is the same as the temperature of the surrounding air.

Properties The emissivity of the base surface is given to be $\varepsilon = 0.6$.

Analysis At steady conditions, the 1000 W energy supplied to the iron will be dissipated to the surroundings by convection and radiation heat transfer. Therefore,

$$\dot{Q}_{\text{total}} = \dot{Q}_{\text{conv}} + \dot{Q}_{\text{rad}} = 1000 \text{ W}$$

where $\dot{Q}_{\text{conv}} = hA_s \Delta T = (35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K})(0.02 \text{ m}^2)(T_s - 293 \text{ K}) = 0.7(T_s - 293 \text{ K})$

and $\dot{Q}_{\text{rad}} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_o^4) = 0.6(0.02 \text{ m}^2)(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4)[T_s^4 - (293 \text{ K})^4]$
 $= 0.06804 \times 10^{-8} [T_s^4 - (293 \text{ K})^4]$

Substituting, $1000 \text{ W} = 0.7(T_s - 293 \text{ K}) + 0.06804 \times 10^{-8} [T_s^4 - (293 \text{ K})^4]$

Solving by trial and error gives

$$T_s = 947 \text{ K} = 674^\circ \text{C}$$

Discussion We note that the iron will dissipate all the energy it receives by convection and radiation when its surface temperature reaches 947 K.

