



Karadeniz Teknik Üniversitesi

Orman Fakültesi
Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü

TEKNİK FİZİK

BÖLÜM 3. ISI TRANSFERİ

Dr.-Mak.Müh. Kemal ÜÇÜNCÜ



3.1. Temel Kavramlar

Tanımlar

- Isı, bir enerji çeşididir; yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan daha düşük sıcaklıktaki ortama kendiliğinden geçer.
- Aksine, ısıнын düşük sıcaklıktaki bir ortamdan daha yüksek sıcaklıktaki bir ortama verilmesi, ancak sisteme dışarıdan bir enerjinin tatbik edilmesi ile mümkün olabilir.
 - Soğutma sistemleri bu esasa göre çalışır.
- Termodinamiğin 2. Kanununun Clausius (1850) tarafından verilen “Isı enerjisi kendiliğinden düşük sıcaklıktaki bir kaynaktan daha yüksek sıcaklıktaki bir kaynağa geçemez” şeklindeki ifadesi de yukarıda belirtilen ifadeleri doğrulamaktadır.

3.1. Temel Kavramlar

- Benzer şekilde tecrübeler de, ısıнын yüksek sıcaklıktaki ortamdan daha düşük sıcaklıktaki ortama kendiliğinden geçeceğini ve bunun tersinin olamayacağını göstermektedir.
- Bu ısı hareketi, sıcaklıklar aynı oluncaya kadar, yani ısı denge kuruluncaya kadar devam eder.
- Termodinamik, zamanı bir değişken olarak almadığından, ısı geçişinin nasıl geçtiğini ve hızını açıklamaz; termodinamik denge halindeki sistemlerle ilgilenir.
- Isı geçişiyle ilgili konularla uğraşan bilim dalına Isı Transferi adı verilir.
- Isı Transferi, bir sistem ile çevresi ya da maddeler arasında yalnız sıcaklık farkından dolayı meydana gelen enerji akışı ile sistem içindeki sıcaklık dağılımını inceleyen bir bilim dalıdır.

3.1. Temel Kavramlar

- Isı, farklı sıcaklıktaki iki ortamda birinden diğerine geçerken, bu iki ortam arasında kalan ortamları da geçer.
- Örneğin, sıcak bir odadan düşük sıcaklıktaki dış havaya geçen ısı; duvarın iç sıvasını, tuğla kısmını ve dış sıvasını geçer.
- Geçen ısının büyüklüğü;
 - ✓ sıcaklık farkına
 - ✓ yüzeye,
 - ✓ zamana ve
 - ✓ ortamların fiziksel özelliklerine bağlıdır.
- Isının geçtiği ortamlar gaz, sıvı veya katılar olabilir.



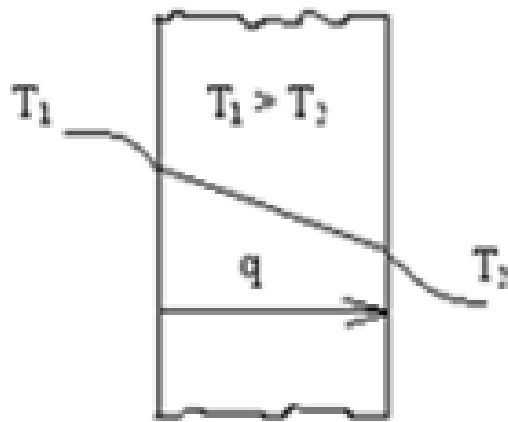
3.1. Temel Kavramlar

- Isı transferi bu ortamlara bağlı olarak üç şekilde meydana gelir:
 - ✓ Isı iletimi (Kondüksiyon)
 - ✓ Isı taşınımı (Konveksiyon)
 - ✓ Isı ışıınımı (Radyasyon)
- Katı cisimlerde ısı enerjisinin serbest elektron hareketiyle bir molekülden ya da atomdan diğerine aktarılması ile meydana gelen ısı geçişine “**Isı iletimi**” denir.
- Gaz veya sıvı akışkanlarda moleküllerin makroskopik hareketleri sonucu olan ısı geçişine “**Isı taşınımı**” denir.
- Katılar ile sıvı veya gaz halindeki akışkanların, dalga boyları ışığın dalga boyundan daha büyük olan elektromanyetik dalgalar şeklinde yaydıkları veya yuttukları ısı geçiş şekline “**Isı ışıınımı**” denir.

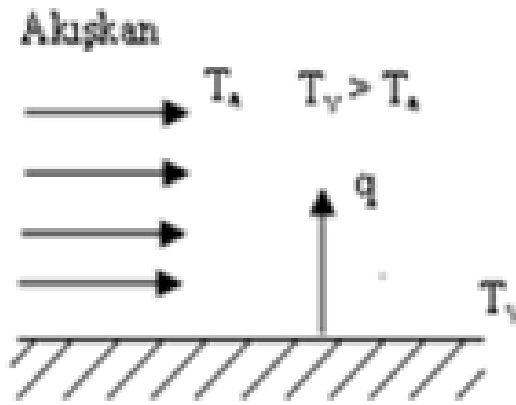


3.1. Temel Kavramlar

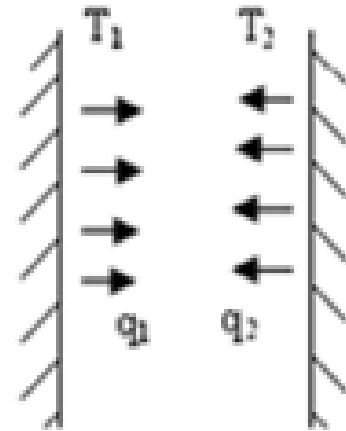
- Isı transferi, karşılaşılan problemlerin cinsine göre yukarıda verilen üç durumdan 1, 2 hatta 3 tanesi bir arada olarak meydana gelebilir.



a) Isı iletimi

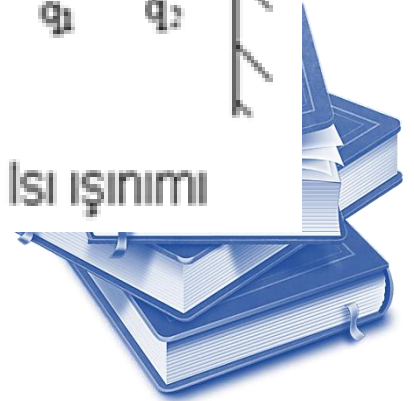


b) Isı taşınımı



c) Isı ışıınımı

Isı geçiş şekilleri



3.1. Temel Kavramlar

- Isının iletim yoluyla geçtiği ortamdaki sıcaklıkların zamanla değişmesi hali “**Değişken Rejim**”, zamanla sabit kalması hali ise “**Sabit Rejim**” olarak adlandırılır.
- Isı transferi; ısı eşanjörleri, buhar kazanları, buhar türbinleri, ısı makinaları tasarımında, işletilmesinde ve kontrolünde mühendisler için büyük önem taşır.
- Isı transferi problemleri mühendisliğin her dalında mevcuttur.
- Bu nedenle, ilgili mühendislerin ısı transferi bilimini bilmesinde yararlar vardır.



3.1. Temel Kavramlar

Isı Geçişi Problemlerinde Yapılan Varsayımlar

- Isı geçişi çoğu zaman bir çok değişken etkisi altında gerçekleşir.
- Bu nedenle, ısı geçişi problemlerinin çözümünü tam ve doğru sonuç verecek şekilde çözmek mümkün olmaz.
- Dolayısıyla, bu durumlarda bazı kabuller yapılarak problemlerin basit çözümleri sağlanabilir.
- Isı geçişi problemleri ile ilgili yapılacak kabuller için bilgi ve deneyim önemlidir.



3.1. Temel Kavramlar

- Isı geçişi problemlerin için yapılabilecek başlıca kabuller şunlardır:
 - ✓ Cismin termofiziksel özelliklerinin sabit olup olmadığı,
 - ✓ Isı geçişinin kaç boyutlu olduğu; bir boyutlu, iki boyutlu, üç boyutlu,
 - ✓ Cismin içinde sıcaklık dağılımının olup olmadığı,
 - ✓ Cismin geometrisi; düzlem duvar (levha), silindirik yüzeyler, küresel yüzeyler,
 - ✓ Isı geçişinin zamana bağlı olup olmadığı; sabit rejim hali (devamlı rejim, kararlı rejim), zamana bağlı rejim hali (geçici rejim, kararsız rejim),
 - ✓ Cismin içinde ısı üretiminin olup olmadığı.



3.1. Temel Kavramlar

Isı Transferinin Özel Kanunları

- Fiziksel bilimlerin diğer bilim dallarında olduğu gibi ısı transferinde de problemlerin çözümünde genel doğa kanunlarından ve ısı transferi özel kanunlarından yararlanılır.
- Bütün fiziksel analizlerde hareket noktasını oluşturan dört doğa kanunu (prensipleri) şunlardır;
 - ✓ Termodinamiğin birinci kanunu
 - ✓ Termodinamiğin ikinci kanunu
 - ✓ Kütlenin sakınımı kanunu
 - ✓ Newton'un ikinci hareket kanunu



3.1. Temel Kavramlar

Termodinamiğin birinci kanunu: Matematiksel ifadesi

$$Q = \Delta E + W$$

Termodinamikte sistem çevresinden ısı alırsa Q pozitif kabul edilir.

Termodinamiğin ikinci kanunu: “Üniform sıcaklıktaki bir ısı kaynağından ısı alışverişi yaparak tam bir çevrim boyunca çalışan ve çevresinde, pozitif iş vermekten başka bir tesir bırakmayan bir makina inşa edilemez”. Yalıtılmış sistemlerde $(dS)_{ad} \geq 0$ geçerlidir. Bu, entropi artışını ifade eder.

Kütlenin korunumu kanunu: İzafiyet ve nükleer tesirler yokluğunda kapalı bir sistemin kütlesi sabittir. Bu kanun deneysel gözlemlere dayanır.

Matematiksel ifadesi: $m = \text{sabit}$



3.1. Temel Kavramlar

Newton'un ikinci hareket kanunu: Belirli bir kütleye sahip olan bir sistemin birim zamanda hareket miktarının değişimi bu sistemin üzerine aynı zaman süresinde tesir eden kuvvetlerin cebirsel toplamına eşittir. Katı cisimler mekaniğinde vektörel bir ifadedir.

$$F_x = \frac{d}{dt} (m \vec{V}_x)$$

- Isı transferi problemlerinin çözümünde bu genel kanunlara ilave olarak üç özel kanundan yararlanılır:
- Fourier ısı iletimi kanunu,
 - Newton'un soğuma kanunu ve
 - Stefan Boltzmann ışıma kanunu



3.2. Isı İletimi

Katı cisimlerde, ısı enerjisinin bir molekülden diğerine geçişi ile meydana gelen ısı geçiş şeklidir.

İşlemin esasını, bir cismi meydana getiren moleküllerin kinetik enerjisinin daha sıcak moleküllerden daha soğuk moleküllere transfer edilmesi oluşturur.

Birim zamanda birim alandan veya birim uzunluktan geçen ısı miktarına ısı akısı denir ve q ile gösterilir.

Bir cismin her noktası belirli bir sıcaklıkta olup, bu sıcaklık değerleri bir sıcaklık alanı oluşturur. Buna izotermal yüzey denir ve bir cismin içindeki ısı akısı izotermal yüzeyin normali boyunca yönelir.

Sıcaklık zamanla değişmiyorsa, zaman bağımsız (sürekli), zamanla değişiyorsa zaman bağımlı (süreksiz) sıcaklık alanları sözkonusudur.

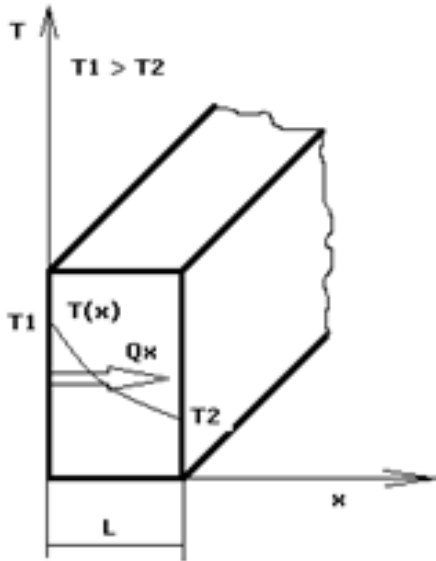


3.2. Isı İletimi

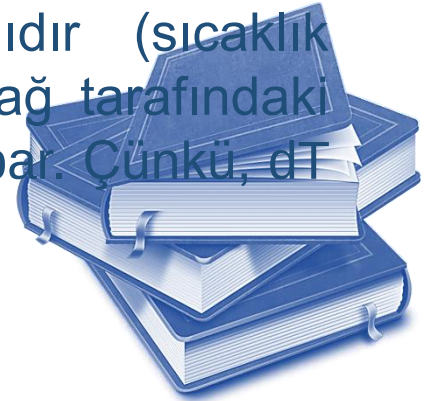
Fourier Isı İletimi Kanunu: Tek katlı düz bir duvarın kalınlığı boyunca ısı iletimi mekanizması şekilde görülmektedir. x- yönünde ısı iletiminden dolayı ısı akısı,

$$q_x = -k \frac{dT}{dx} \quad [Isı akısı: q = Q/A]$$

ifadesi ile belirlenir (J. B. Fourier: Fourier ısı iletimi kanunu).



Burada, k cismin ısı iletkenliği (ısı iletim katsayısı), dT/dx x- yönünde birim uzunluktaki sıcaklık dağılımıdır (sıcaklık eğimi/gradyenti). Bağıntının sağ tarafındaki (-) işareti, ısı akısını pozitif yapar. Çünkü, dT negatiftir.



3.2. Isı İletimi

Yüzey sıcaklıkları T_1 ve T_2 , kalınlığı L , ısı iletim katsayısı k ve yüzey alanı A olan levhada transfer edilen ısı miktarı

$$Q_x = k \frac{T_1 - T_2}{L} A$$

eşitliği ile ifade edilir.

Burada; Q_x birim zamanda ısı iletimi, L ısıнын x - yönünde aldığı mesafe (levha kalınlığı), A , ısı akımına dik ısı transfer yüzey alanı, T_1 , birinci yüzey sıcaklığı, T_2 , ikinci yüzey sıcaklığıdır.

Isı iletim katsayısı

$$k = \frac{Q L}{A (T_1 - T_2)}$$

olarak ifade edilir.



3.2. Isı İletimi

- Isı iletim katsayısı, 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 (porozite), malzeme içerisindeki neme, ısıнын geçtiği yöne ve benzeri fiziksel ve metalurjik etkenlere bağlı olarak değişir.
- Isı iletim katsayısının, cismin içinde her yönde aynı olduğu cisimlere “**izotrop**” cisim denir. SI birim sisteminde birimi W/mK'dir.

$$1 \text{ kCal/mhK} = 1,163 \text{ W/mK}$$

- ✓ Saf maddelerde sıcaklık arttıkça ısı iletim katsayısı azalır.



3.2. Isı İletimi

- ✓ 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 artar.
- ✓ Sıvılarda sıcaklık arttıkça çoğu sıvının ısı iletim katsayısı azalmakla birlikte, bazı sıvılarınki artar. Suyun ısı iletim katsayısı, suyun sıcaklığı yaklaşık 140 °C'a ısıtılınca kadar artmakta, daha sonra azalmaya başlamaktadır.
- ✓ Saf maddenin ısı iletim katsayısı, eğer içerisine başka bir bileşen ilave edilirse azalır.
- ✓ Nem, genellikle bütün malzemelerin ısı iletim katsayısını artırır.



3.2. Isı İletimi

- Isı iletim katsayısı arttıkça ısı geçişi artar. Isı geçişinin yüksek olmasının istendiği durumlarda ısı iletim katsayısı yüksek olan malzemeler, ısı geçişinin azalması istendiği durumlarda ise ısı iletim katsayısı düşük olan ısı yalıtım malzemeleri kullanılır.
- Isı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları yaklaşık 0,03 – 0,08 W/mK arasında değişir.
- Başlıca ısı yalıtım malzemeleri cam yünü, taş yünü, polistren köpükler (strofor) ve cüruf yünü olarak gruplandırılabilir.

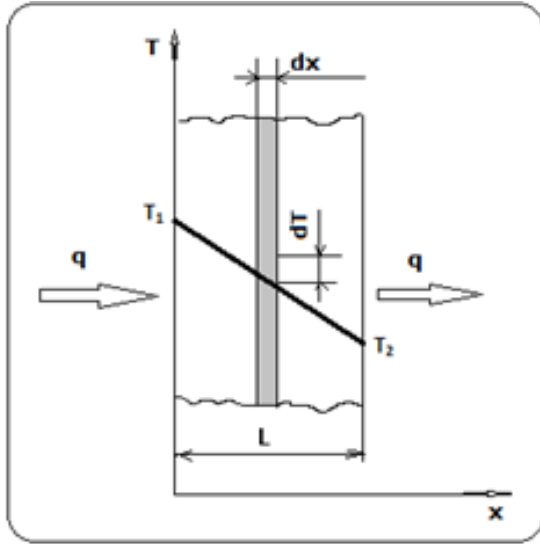
Malzeme cinsi	k (W/m°C)
Çinko	112
Bakır	360
Alüminyum	237
Dökme demir	55-65
Çelik	45-55
Balsa	0,055
Kökner	0,11
Meşe	0,166
Mantar levha	0,043
Odun talaşı	0,059
Mermer	2,07-2,94
Beton	1,3
Tuğla	0,70-1,2
Cam	0,75
Cam yünü	0,04
Gazlar	0,006-0,6
Sıvılar	0,46-0,7
Yağlar	0,1-1,0
Hava	0,026
Su	0,5-0,7

3.2. Isı İletimi

Tek ve Çok Katlı Düzlem Duvarlarda Isı İletimi

Tek katlı düz duvardan iletimle transfer edilen ısı akısı yoğunluğu sıcaklık farkı ile doğru, duvarın ısı direnci ile ters orantılıdır.

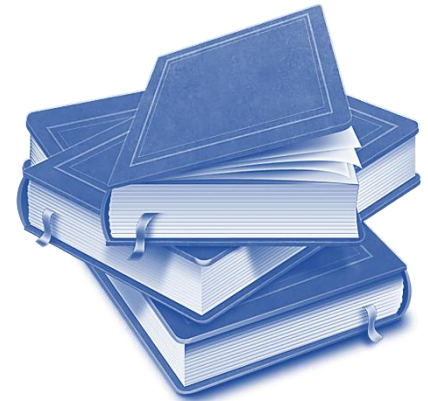
Isıl iletkenlik sıcaklıktan bağımsız ise, sıcaklık duvar boyunca doğrusal olarak değişir.



Düz duvarda ısı iletimi

Bina ve benzeri yapıların duvarları genellikle birkaç tabakadan meydana gelmiştir.

Çok katlı bir duvar boyunca ısı iletimi, bu ayrı tabakaların ısı iletkenliği ile belirlenir.



3.2. Isı İletimi

Şekilde görüldüğü gibi, farklı malzemelerden yapılmış üç katlı bir duvar göz önüne alındığında, ısı akısı yoğunluğu q , tüm tabakalar için aynıdır. Bu durumda her bir tabaka için

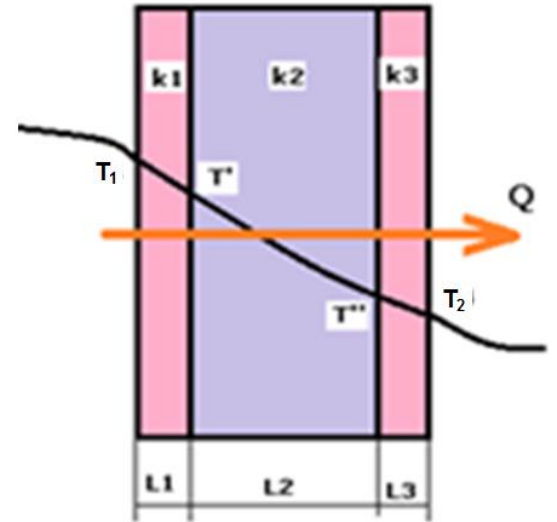
$$q = \frac{k_1}{L_1} (T_1 - T') \quad (1)$$

$$q = \frac{k_2}{L_2} (T' - T'') \quad (2)$$

$$q = \frac{k_3}{L_3} (T'' - T_2) \quad (3)$$

bağıntıları yazılabilir.

Tabakaların temas noktalarındaki sıcaklıkları (T_1 , T' ve T'') bulmak için bu bağıntılardan yararlanılır.



Çok katlı düz levha



3.2. Isı İletimi

Her bir tabakadaki sıcaklık düşüşü aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$T_1 - T' = q \frac{L_1}{k_1} = q R_1 \quad (4)$$

$$T' - T'' = q \frac{L_2}{k_2} = q R_2 \quad (5)$$

$$T'' - T_2 = q \frac{L_3}{k_3} = q R_3 \quad (6)$$

Bu denklemlerin sağ ve sol tarafları taraf tarafa toplanırsa

$$T_1 - T_2 = q \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) = q (R_1 + R_2 + R_3) = q R$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = \sum_{i=1}^n R_i$$



3.2. Isı İletimi

Isı akısı:

$$q = \frac{T_1 - T_2}{R}$$

Isı iletimi ısıl direnci:

$$Q = k A \frac{\Delta T}{L} = \frac{\Delta T}{\frac{L}{kA}} = \frac{\Delta T}{R} \Rightarrow R = \frac{L}{kA}$$

Çok katlı bir duvardan geçen ısı miktarı:

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{\sum_{i=1}^n R_i} A$$

Çok tabakalı düzlem duvarlar için toplam ısı iletim katsayısı:

$$K = \frac{1}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3}}$$



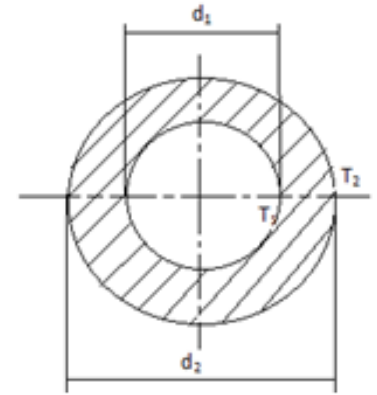
3.2. Isı İletimi

Radyal Isı İletimi / İçi Boş Silindir (Boru)

Alan, ısı akışına dik olduğundan $A = 2 \pi r L$ 'dir.

Tek katlı silindirik duvarda ısı geçişi ve akısı:

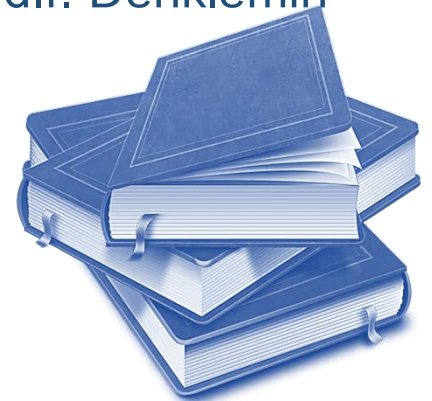
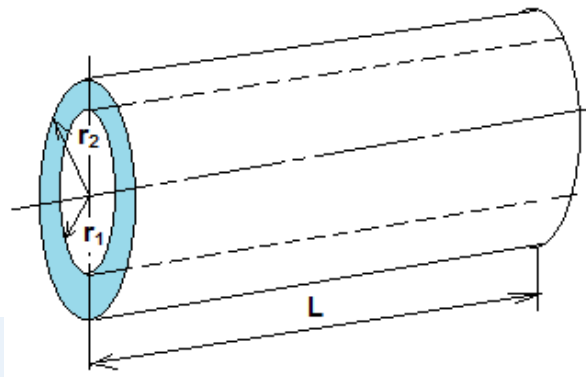
$$Q = \frac{2 \pi k}{\ln(d_2/d_1)} L (T_1 - T_2) [W] \quad q = \frac{2 \pi k}{\ln(r_2/r_1)} (T_1 - T_2)$$



Boruda ısı iletimi

Burada, L boru uzunluğu, d_1 borunun iç çapı, d_2 borunun dış çapı, T_1 borunun iç yüzey sıcaklığı, T_2 borunun dış yüzey sıcaklığıdır. Denklemin paydasındaki değer de ısı direnci ifade eder.

$$R = \frac{\ln(d_2/d_1)}{2\pi kL}$$



3.2. Isı İletimi

İçi boş silindirde ısı iletimi:

$$Q = k A \frac{T_2 - T_1}{r_2 - r_1}$$

Silindirin iç yüzey alanı : $A_1 = 2 \pi r_1 L$

dış yüze alanı : $A_2 = 2 \pi r_2 L$

olmak üzere ortalama yüzey alanı

$$A = \frac{A_2 - A_1}{\ln(A_2/A_1)}$$

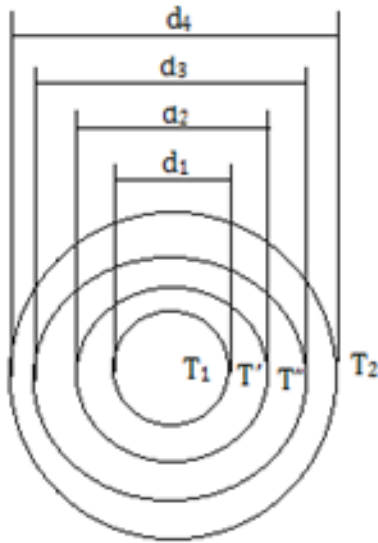
eşitliği ile ifade edilir.



3.2. Isı İletimi

Farklı malzemelerden yapılmış çok katlı bir silindirik duvar için ısı iletimi

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{\sum \frac{1}{2\pi k_i L} \ln \left(\frac{d_{i+1}}{d_i} \right)} [W]$$



- Silindirik bir duvarın (tek veya çok katlı) çapları oranı $d_2/d_1 > 2$ ise, silindirik duvarın ısı iletkenliği bir düz duvar gibi hesaplanabilir. Böyle bir durumda

$$d_o = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

şeklinde tanımlanan ortalama çap kullanılır.



Çok katlı boruda ısı iletimi

3.2. Isı İletimi

Radyal Isı İletimi / İçi Boş Küre

İçi boş kürede ısı geçişi

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{r_2 - r_1}{4\pi k r_1 r_2}} [W] \text{ veya } Q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}} \frac{1}{4\pi k} [W]$$

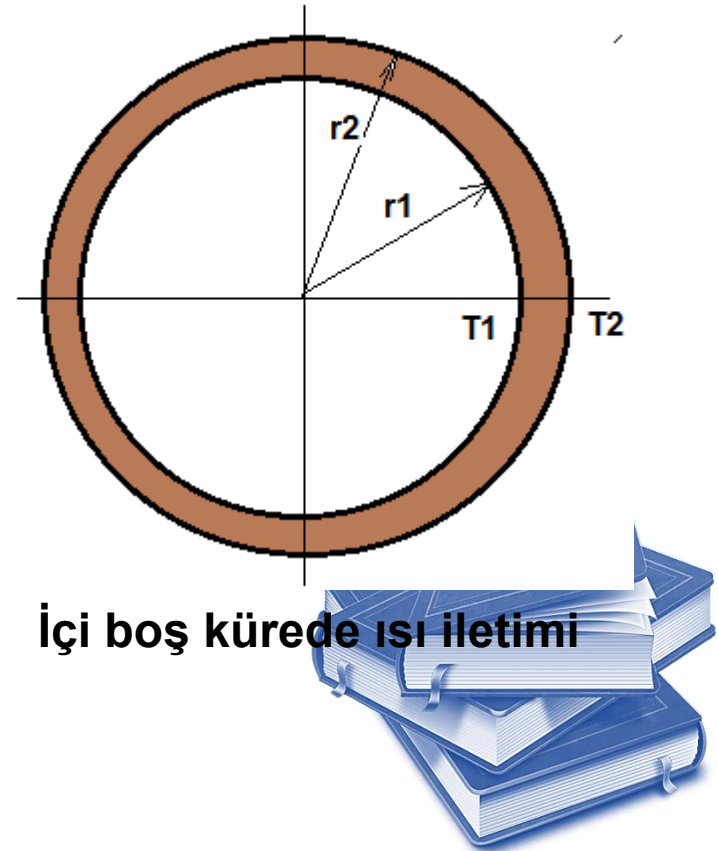
Kürenin ortalama yüzey alanı

$$A = 4\pi r_1 r_2 (A_1 A_2)^{1/2}$$

eşitliği ile ifade edilerek ısı iletimi

$$Q = k A \frac{T_2 - T_1}{r_2 - r_1}$$

eşitliği ile hesaplanabilir.



3.3. Isı Taşınımı

Temel Kavramlar

Isı taşınımı, bir katı yüzeyle bu yüzeye temas eden gaz veya sıvı akışkan arasında meydana gelir. Akışkanın hareketi dışarıdan verilen bir enerji ile oluyorsa, ısı taşınımı “**Zorlanmış Isı Taşınımı (Cebri Konveksiyon)**” olarak adlandırılır. Vantilatörle hava akımının, pompa ile su akımının meydana getirilmesi buna örnek olarak gösterilebilir.

Akışkan hareketi sıcaklık farkı nedeniyle yoğunluktaki değişimlerden meydana geliyorsa, bu tür ısı taşınımına “**Doğal Isı Taşınımı (Tabi Konveksiyon)**” adı verilir. Bir ısıtıcının etrafındaki havanın yükselmesi buna örnek olarak verilebilir.



3.3. Isı Taşınımı

Akışkanın hareketi halinde akış çizgileri düzgün ve birbirine paralel ise bu akışa “**Laminer Akış**”, akış çizgilerinde bir karışıklık mevcutsa bu akışa “**Türbülanslı Akış**” denir.

Yoğunluğu zamanla değiştirilemeyen akışkanlara “**Sıkıştırılamayan Akışkan**” denir.

Akışkanın temas halinde bulunduğu yüzeyle akışkan arasında ya da akışkanın ipçikleri arasında sürtünme bulunmayıp sadece basınç kuvveti mevcutsa bu tür akışkanlar “**İdeal Akışkan**” olarak adlandırılır.

Akışkan ile temas ettiği yüzey arasında veya kendi ipçikleri arasında sürtünme nedeniyle viskoz kuvvetler mevcutsa bu akışkanlar “**Gerçek Akışkan**” olarak adlandırılır.

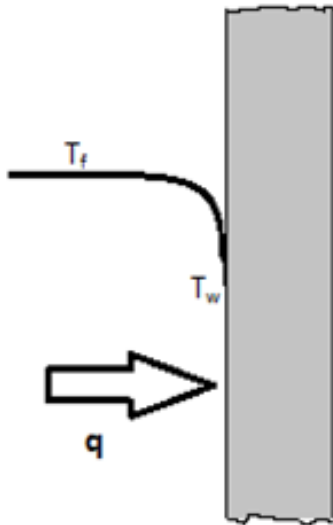


3.3. Isı Taşınımı

Newton'un Soğuma Kanunu

Isı taşınımı, bir katı yüzeyle bu yüzeye temas eden gaz veya sıvı akışkan arasında meydana gelir.

Taşınan ısı miktarı Q , ısı taşınım katsayısı h , duvarın yüzey alanı A ve duvar yüzeyi ile akışkan arasındaki sıcaklık farkı ile doğru orantılıdır.



Taşınan ısı miktarı Q , ısı taşınım katsayısı h , duvarın yüzey alanı A ve duvar yüzeyi T_w ile akışkan T_f arasındaki sıcaklık farkı $(T_f - T_w)$ ile doğru orantılıdır (Newton Soğuma Kanunu).

$$Q = h A (T_f - T_w)$$



3.3. Isı Taşınımı

Isı miktarı, ısı geçiş yüzey alanına bölünerek ısı akısı yoğunluğu bulunur.

$$q = h (T_f - T_w)$$

Aynı bağıntıdan ısı taşınım katsayısı bulunur.

$$h = \frac{Q}{h (T_f - T_w)}$$

Isı taşınım ısıl direnci:

$$Q = h A \Delta T = \frac{\Delta T}{\frac{1}{h A}} = \frac{\Delta T}{R} \Rightarrow R = \frac{1}{h A}$$



3.3. Isı Taşınımı

Yüzeyden akışkana iletilen ısı akışkan hareketi ile taşınır. Taşınan ısı üzerinde ısı transfer katsayısı etkili bir faktördür. Isı transfer katsayısı aşağıdaki etkiler altında değişir:

- 1) Akışkanın fiziksel özellikleri (viskozite, yoğunluk, özgül ısı vb.)
 - 2) Akışkanın akış hızı
 - 3) Akışın cinsi (laminer akış, türbülanslı akış)
 - 4) Akışkanla temas eden yüzeyin şekli (yüzey pürüzlülüğü, vb)
- Isı transfer katsayısı akışkanın bir fiziksel özelliği değildir.
 - Isı taşınımı ile ilgili problemlerde ısı taşınım katsayısı genellikle deneysel olarak bulunur. Bu amaçla boyutsuz sayılardan yararlanılır: Nusselt, Reynolds, Grashof ve Prandtl sayıları önemli boyutsuz sayılardır.



3.3. Isı Taşınımı

Nusselt sayısı: Isı transferinin en önemli boyutsuz sayılarından olup akışkan ile katı bir cidar arasındaki ısı transferini karakterize eder.

$$Nu = \frac{hL}{k}$$

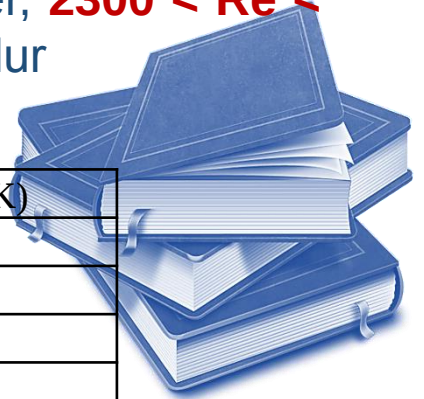
Reynolds sayısı: Reynolds sayısı, atalet kuvvetlerinin viskoz (sürtünme) kuvvetlere oranıdır (u akışkanın hızı, L karakteristik uzunluk, ν akışkanın kinematik viskozitesi)

$$Re = \frac{uL}{\nu}$$

Bir akışkanın akışını karakterize eder. **$Re < 2300$** için laminar, **$2300 < Re < 10^4$** için geçiş akışı, **$Re > 10^4$** için türbülanslı akış söz konusudur

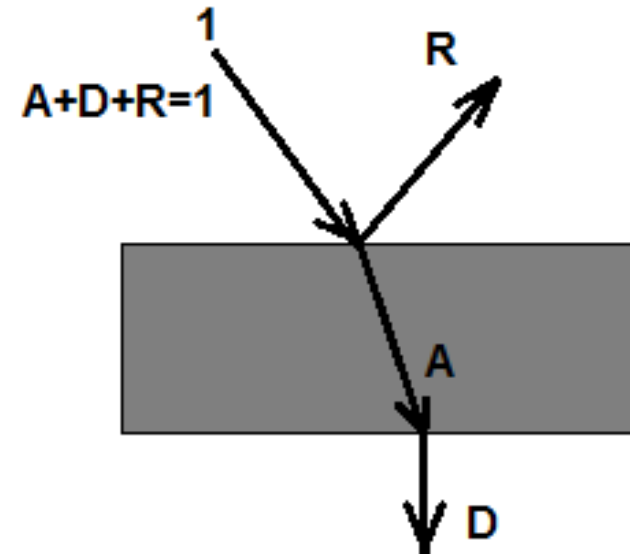
Isı taşınım katsayıları

Akışkan	Doğal taşınım (W/m ² K)	Zorlanmış dolaşım (W/m ² K)
Gazlar	5 – 30	30 – 300
Yağlar	5 – 100	50 – 300
Su (tek faz)	30 – 300	500 – 20.000
Kaynar su	2000 – 20.000	3000 – 100.000
Yoğuşan su	3000 – 30.000	3000 – 200.000



3.4. Isı Işınımı

- Katı, sıvı ve bazı gaz akışkanlar ısınım yoluyla ısı yayarlar. Radyasyon, değişik dalga boylarındaki elektromanyetik dalgaların titreşmesiyle oluşur. 0 K sıcaklığı üzerinde bütün cisimler radyasyon enerjisi yayar (R), yutar (A) veya kısmen geçirirler (D).
- Isı ışıınımını hiç yutmadan tamamen yansıtan cisimlere **beyaz cisim** denir: $A = 0$, $D = 0$, $R = 1$
- Isı ışıınımını tamamen yutan ve geçirme özelliği olmayan cisimlere **siyah cisim** denir: $A = 1$, $D = 0$, $R = 0$



3.4. Isı Işınımı

- Mühendislikte kullanılan malzemeler genellikle, cam hariç, ısı ışınımının bir kısmını yutar ve bir kısmını da yansıtırlar. Bu cisimlere **gri cisim** denir: $A + R = 1$, $D = 0$

Gazlarda yansıtma ihmal edilebilecek kadar küçüktür: $A+D=1$, $R=0$

Isı ışınımı için en genel halde $A + R + D = 1$ eşitliği geçerlidir.



3.4. Isı Işınımı

Stefan-Boltzman Işıma Kanunu

- Katı, sıvı veya gaz halindeki bir maddenin sıcaklığından dolayı elektromanyetik dalgalar ile yaydığı ısı geçişine ısı ışıınımı ya da ışıınım ile ısı geçişı denir.
- Boşlukta ısı iletim ve taşıınım ile ısı geçişı olmamasına rağmen ışıınım ile ısı geçişı mümkün olmaktadır.
- Isı ışıınımı 10^{-1} ile 10^{-2} mikron dalga aralığında ışıınlar yayar.
- Birbirinden uzakta bulunan bütün cisimler arasında doğrudan bir temas olmamasına karşın, ışıınımla ısı geçişı meydana gelmektedir.
- Bu salınımların dalga boylarına bağılı olarak, ışıınım enerjisi gama ışıınları, X- ışıınları, ultraviyole, ısı (enfrared) ışıınları ve benzeri gruplara ayrılır.



3.4. Isı Işınımı

Işınım için enerji dengesi

$$Q_o = Q_A + Q_R + Q_D$$

şeklinde yazılabilir.

Burada, Q_o gelen toplam ısıtım enerjisi, Q_A yutulan enerji, Q_R yansıtılan enerji, Q_D diğer bir cisme transfer edilen enerjidir.

Siyah bir cisimde ışıma enerjisi Stefan-Boltzmann kanunu ile belirlenir.

$$Q_s = \sigma A T^4 [W]$$

Burada; A yüzeyin mutlak sıcaklığı, A ışıma dik yüzey alanı,

σ = Stefan Boltzmann sabiti = $5,775 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$



3.4. Isı Işınımı

Uygulamada kolaylık sağlamak amacıyla

$$C_s = 10^8 \sigma$$

ısı ışıınım katsayısı kullanılır. Bu durumda genel ışıma denklemi

$$Q_s = C_s A \left(\frac{T}{100} \right)^4$$

şeklinde ifade edilir.

İki gri cisim arasında ışıma ile ısı transferi

$$Q_s = \epsilon_{12} C_s A \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

eşitliği ile ifade edilir.



3.4. Isı Işınımı

Birbirine paralel iki duvar için yayma katsayısı

$$\frac{1}{\epsilon_{12}} = \frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1$$

yüzey alanları farklı levhalarda (silindir veya küre gibi) yayma katsayısı

$$\epsilon_{12} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)}$$

bağıntısı ile ifade edilir.

İki kara cisim arasında ışıma ile ısı transferi ($\epsilon = 1$ için)

$$Q_s = C_s A \left[\left(\frac{T_1}{1000} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

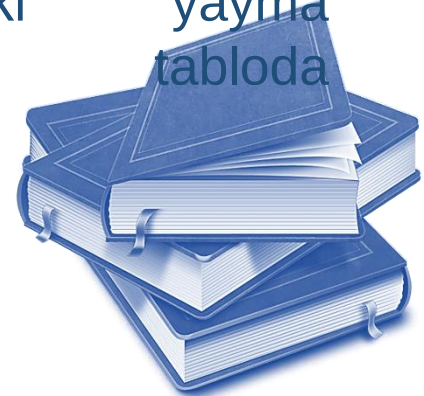
şeklinde ifade edilir.



3.4. Isı Işınımı

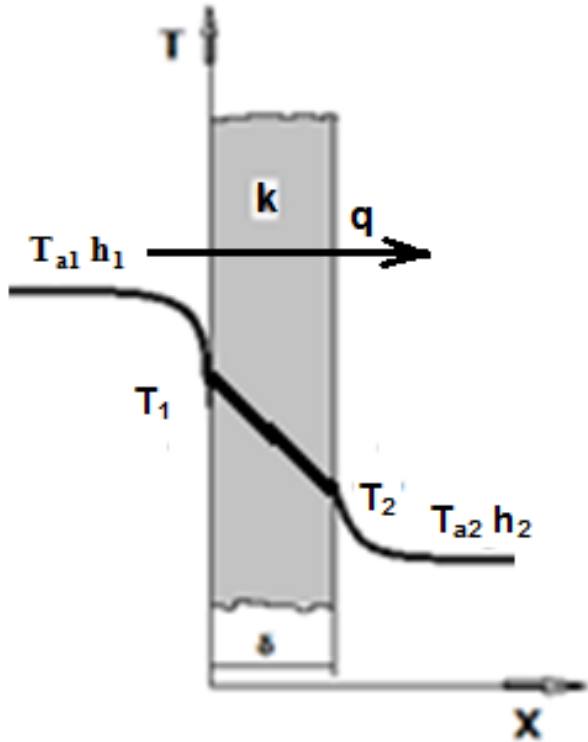
Malzeme	Sıcaklık [$^{\circ}\text{C}$]	
Saf alüminyum	20-50	0.06 – 0.07
Siyah boya	27	0.98
Beyaz boya	27	0.90
Beyaz kağıt	27	0.92-0.97
Parlatılmış gümüş	27	0.02
Asfalt kaldırım	27	0.85-0.93
Parlatılmış paslanmaz çelik	27	0.17
Su	0-100	0.95 – 0.96
Bitki örtüsü	27	0.92-0.96
Tuğla	20	0.88 – 0.98
Kırmızı tuğla	27	0.93-0.96
İnsan derisi	27	0.95
Tahta	27	0.82-0.92
Kömür	100-600	0.79 – 0.81
Toprak	27	0.93-0.96
Çelik	25-350	0.82 – 0.94
Cam	25	0.94

- Bir cismin yayma katsayısı, belli bir dalga boyunda yaydığı ışıma enerjisinin siyah bir cismin aynı dalga boyunda yaydığı ışıma enerjisine oranıdır.
- Bazı cisimlerin belirli sıcaklıklardaki yayma katsayıları verilmiştir.



3.5. Toplam Isı Geçişi

Bir duvarla ayrılmış iki ortamdan birinden diğeriine olan ısı geçişi, ışınımila ısı geçişi ihmal edilirse, ısı transferi mekanizması aşağıdaki süreçle tamamlanır:



- 1) Sıcak ortamla duvar yüzeyi arasında taşınımila ısı geçişi
- 2) Duvar kalınlığınca ısı iletimi
- 3) Duvarın diğeri yüzeyi ile soğuk ortam arasında taşınımila ısı geçişi



3.5. Toplam Isı Geçişi

Düz Duvardan Toplam Isı Geçişi

Düz duvarlarda sıcak ortamdan (T_1) duvara (T_{a1}) taşınan ısı miktarı:

$$Q = h_1 (T_{a1} - T_1) A$$

Duvar kalınlığı boyunca iletimle ısı transferi (T_1 , T_2):

$$Q = \frac{k}{\delta} (T_1 - T_2) A$$

Duvarın diğer yüzeyinden (T_2) soğuk ortama (T_{a2}) taşınan ısı miktarı:

$$Q = h_2 (T_2 - T_{a2}) A$$

ifadeleri ile belirlenir.



3.5. Toplam Isı Geçişi

Çok tabakalı levha

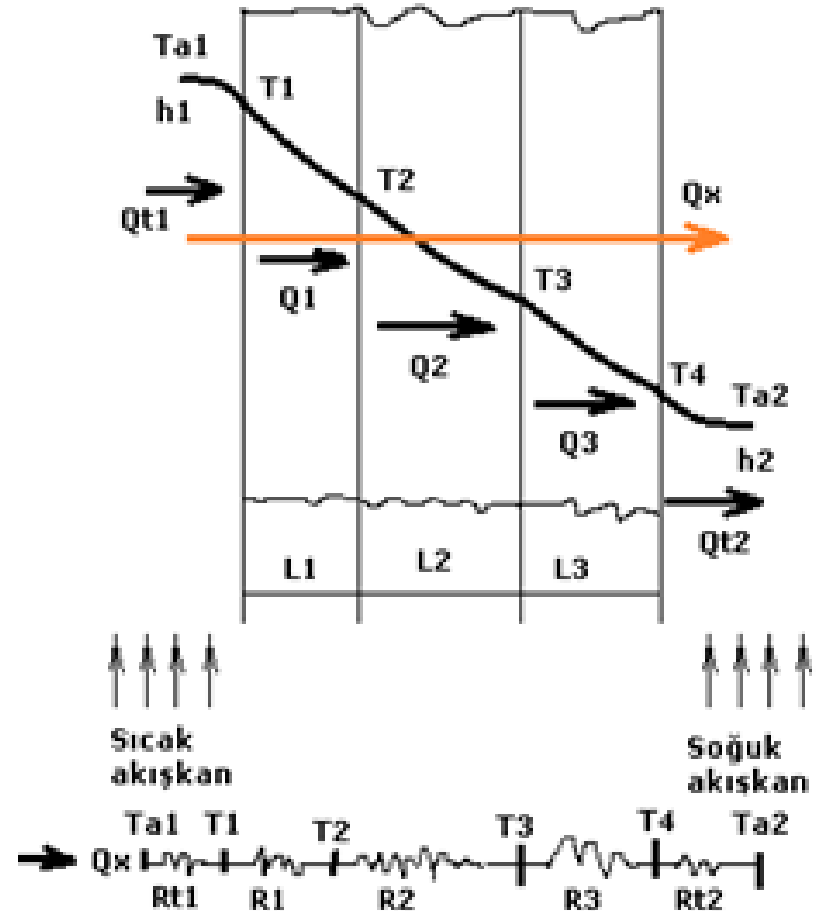
$$Q_{t1} = h_1 A (T_{a1} - T_1) \quad (1)$$

$$Q_1 = \frac{k_1 A}{L_1} (T_1 - T_2) \quad (2)$$

$$Q_2 = \frac{k_2 A}{L_2} (T_2 - T_3) \quad (3)$$

$$Q_3 = \frac{k_3 A}{L_3} (T_3 - T_4) \quad (4)$$

$$Q_{t2} = h_2 A (T_4 - T_{a2}) \quad (5)$$



Çok tabakalı levha

3.5. Toplam Isı Geçişi

- Bu bağıntılar sıcaklıklara bağımlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

Bu bağıntılar sıcaklıklara bağımlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{Q_{t1}}{h_1 A} = T_{a1} - T_1 \quad (6)$$

$$\frac{Q_1 L_1}{k_1 A} = T_1 - T_2 \quad (7)$$

$$\frac{Q_2 L_2}{k_2 A} = T_2 - T_3 \quad (8)$$

$$\frac{Q_3 L_3}{k_3 A} = T_3 - T_4 \quad (9)$$

$$\frac{Q_{t2}}{h_2 A} = T_4 - T_{a2} \quad (10)$$



3.5. Toplam Isı Geçişi

- Bu denklemler taraf tarafa toplanır.

$$\frac{Q_{t1}}{h_1 A} + \frac{Q_1 L_1}{k_1 A} + \frac{Q_2 L_2}{k_2 A} + \frac{Q_3 L_3}{k_3 A} + \frac{Q_{t2}}{h_2 A} = T_{a1} - T_{a2}$$

TD1K gereğince: $Q_{t1} = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_{a2} = Q_x$

$$Q_x = \frac{T_{a1} - T_{a2}}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \frac{L_3}{k_3 A} + \frac{1}{h_2 A}}$$

$$Q_x = \frac{T_{a1} - T_{a2}}{\frac{1}{h_1 A} + \sum \frac{L_i}{k_i A} + \frac{1}{h_2 A}}$$

$$Q_x = \frac{T_{a1} - T_{a2}}{R_{t1} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{t2}} = \frac{\Delta T}{R}$$



3.5. Toplam Isı Geçişi

- Seri direnç genel ifadesi;

$$R = \frac{1}{h_1 A} + \sum \frac{L_i}{k_i A} + \frac{1}{h_2 A}$$

$$Q_x = \frac{T_{a1} - T_2}{R_{t1} + R_1} = \frac{T_1 - T_2}{R_1} + \frac{T_{a1} - T_3}{R_{t1} + R_1 + R_2} = \frac{T_1 - T_4}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{T_3 - T_{a2}}{R_3 + R_{t2}} = \dots$$

Toplam ısı transferi

$$Q_x = K A \Delta T$$

$$Q_x = K A (T_{a1} - T_{a2})$$

$$Q_x = \frac{A (T_{a1} - T_{a2})}{\frac{1}{h_1} + \sum \frac{L_i}{k_i} + \frac{1}{h_2}}$$



3.5. Toplam Isı Geçişi

Toplam ısı transfer katsayısı:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \sum \frac{L_i}{k_i} + \frac{1}{h_2}}$$

Isı iletimi için ısı direnç: $R_i = \frac{1}{k A}$

Isı taşınımı için ısı direnç: $R_t = \frac{1}{h A}$

Toplam ısı direnç: $R = \frac{1}{K A}$



3.5. Toplam Isı Geçişi

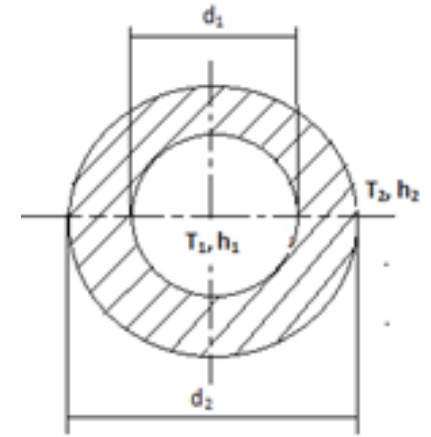
Silindirik Duvardan Toplam Isı Geçişi

Çok katlı silindirik duvarda toplam transferi:

$$Q = K L (T_1 - T_2) [W]$$

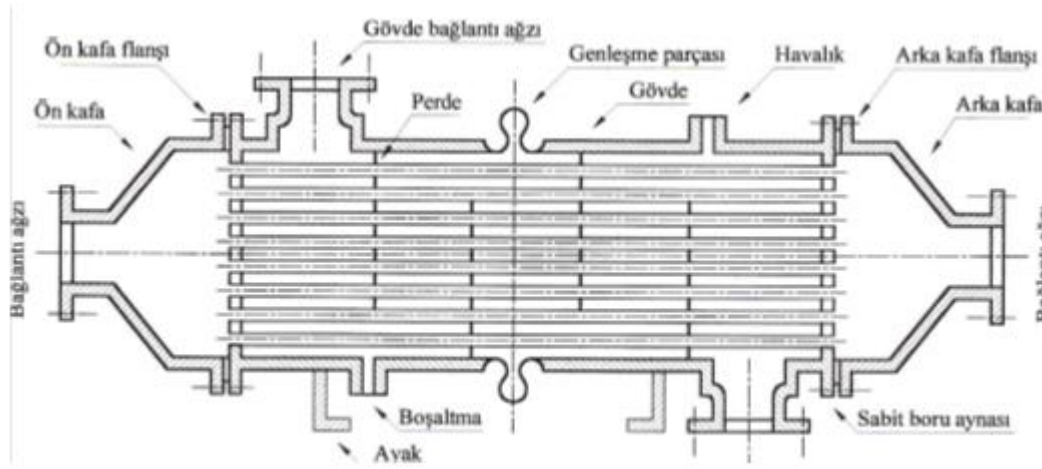
Isı transfer katsayısı

$$K = \frac{2 \pi}{\frac{1}{h_1 d_1} + \sum \frac{1}{k_i} \ln \left(\frac{d_{i+1}}{d_i} \right) + \frac{1}{h_2 d_2}} [W/m^2 \text{ } ^\circ\text{C}]$$



3.6. Isı Eşanjörleri

- Isı değıştircileri/eşanjörleri, ısıtma işlemlerinde, kimya ve gıda sanayinde çok yaygın olarak kullanılan cihazlardır. Farklı sıcaklıklardaki iki akışkan arasında ısı transferinin gerçekleştirilmesini sağlarlar.
- Isı değıştircileri üç grupta toplanırlar; yüzeyli ısı değıştircileri, karışımli ısı değıştircileri ve rejeneratörler.



Düz borulu eşanjör ve elemanları

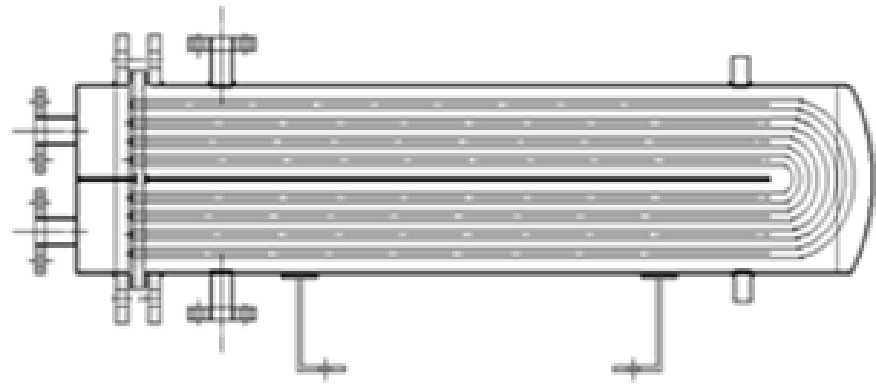


3.6. Isı Eşanjörleri

Yüzeyli ısı değiştiricileri: Her iki akışkan, ısı değiştiricinin birbirinden ayrılmış bölgelerinden aynı anda geçerken ısı alışverişi olur. Isı alışverişi yapan akışkanların değiştiriciye giriş ve çıkış sıcaklıkları farklıdır.

Yüzeyli ısı değiştiricilerine aşağıdaki örnekler verilebilir:

- Çürük gaz ısı değiştiricisi
- Gaz ısıtıcısı
- İç içe borulu ısı değiştirici
- Yağmur sistemli soğutucu
- Helezon borulu ısı değiştirici
- Levhalı ısı değiştirici
- Hücreli ısı değiştirici
- Spiral ısı değiştirici
- Karıştırmalı ısı değiştirici
- Boru demetli ısı değiştirici

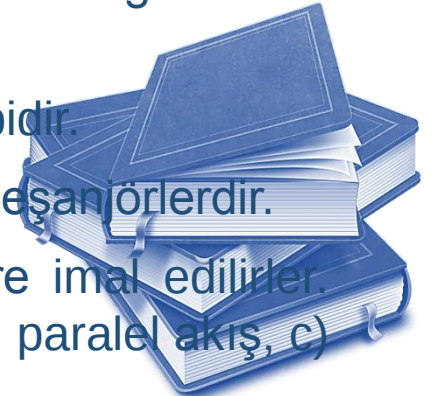


Paralel yüzeyli ısı eşanjörü



3.6. Isı Eşanjörleri

- **Karışımli ısı değıştiricileri:** Her iki akışkan ısı değıştirici içinde karışarak ısı alışverişı olur. Bu tip değıştiricilere sprej tipi ısı değıştiricileri de denir.
- **Rejeneratör:** Sıcak/ısı veren ve soğuk/ısı alan akışkanlar, aynı akış kanalından birbiri arkasından geçirilir. Sıcak akışkanın ısıttığı yüzey soğuk akışkan geçerken ısıyı geri vererek ısı alışverişı sağlanır.
- Isı değıştiricileri, uygulamada kullanım yerlerine göre ekonomizör, hiter ve reküperatör gibi özel adlarla adlandırılırlar.
- Ekonomizör, kazan tesislerinde besleme suyunun baca gazları ile ısıtıldığı eşanjör tipidir.
- Hiter, besleme suyunun atık buharı ile ısıtıldığı eşanjör tipidir.
- Reküperatör, yüksek fırınlarda yanma havasının ısıtıldığı eşanjörlerdir.
- Yüzeyli ısı değıştiricileri akışkanların akış yönlerine göre imal edilirler. Muhtelif akış tipleri: a) Aynı yönlü paralel akış, b) Zıt yönlü paralel akış, c) Çapraz akış, d) Karışık akış



3.6. Isı Eşanjörleri

Yüzeyli Isı Değiştiricilerinde Isı Geçişi

- Isı değiştiricilerinde sıcak akışkandan soğuk akışkana ısı transferinde değiştirici içindeki akışkanların birbirlerine göre akış durumu göz önüne alınır.
- Aynı yönlü paralel akış durumu

$$\Delta T_g = T_{1g} - T_{2g}$$

$$\Delta T_{\dot{c}} = T_{1\dot{c}} - T_{2\dot{c}}$$

- Isı veren/soğuyan akışkanın verdiği ısı miktarı

$$Q = m_1 C_{p1} (T_{1g} - T_{1\dot{c}})$$

- Soğutkan/ısınan akışkanın aldığı ısı miktarı

$$Q = m_2 C_{p2} (T_{2\dot{c}} - T_{2g})$$



3.6. Isı Eşanjörleri

- Eşanjörle çevresi arasında ısı geçişi olmadığı varsayılırsa, akışkanlar arasında alınan ve verilen ısı miktarı aynı olduğundan

$$Q = m_1 C_{p1} (T_{1g} - T_{1ç}) = m_2 C_{p2} (T_{2ç} - T_{2g})$$

- Yüzeyli ısı değiştiricilerinde transfer edilen ısı miktarı, ısı geçişinin A yüzeyinden gerçekleştiği düşünülürse

$$Q = K A \Delta T_m$$

şeklinde yazılabilir. Burada, ΔT_m logaritmik sıcaklık farkı olup,

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_g - \Delta T_ç}{\ln \frac{\Delta T_ç}{\Delta T_g}}$$

olarak ifade edilir.



3.6. Isı Eşanjörleri

- ΔT_g ve ΔT_{ζ} sıcaklık farkları akış cinsine göre belirlenir.
- Aynı yönlü paralel akış hali için

$$\Delta T_g = T_{1g} - T_{2g}$$

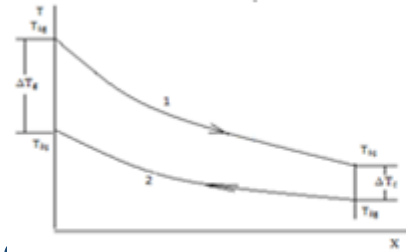
$$\Delta T_{\zeta} = T_{1\zeta} - T_{2\zeta}$$

- Zıt yönlü paralel akış hali için

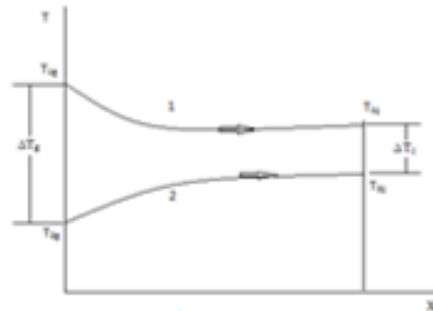
$$\Delta T_g = T_{1g} - T_{2\zeta}$$

$$\Delta T_{\zeta} = T_{1\zeta} - T_{2g}$$

şeklinde ifade edilir.



Zıt yönlü paralel akış



Aynı yönlü paralel akış

