



GIDA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
Department of Food Engineering

Isı ve Kütle Transferi Ders Sunumu

Dersin Adı: GM 204 – Isı ve Kütle Transferi

Dersin Hocası: Doç. Dr. Ahmet AKKÖSE

atauni.edu.tr    Atauni1957



KARARSIZ HAL ISI TRANSFERİ

Kararsız hal ısı transferi ısıtma veya soğutma proseslerinde sıcaklığın hem zaman hem de lokasyonun bir fonksiyonu olarak değiştiği durumlarda gerçekleşir. Buna karşın kararlı hal ısı transferinde sıcaklık sadece lokasyonla değişmektedir. Kararsız hal şartları için aşağıdaki kısmi diferansiyel eşitlik yazılabilmektedir;

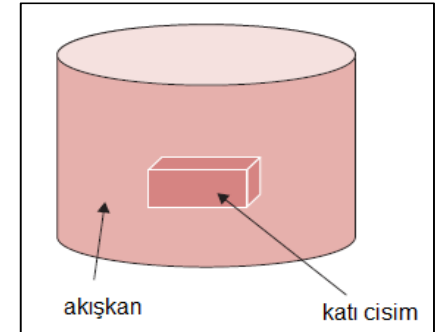
$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho C_p} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right)$$

Eşitlikteki: T , sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$); t , zaman (s); x , merkezi noktadan uzaklık (m), $\frac{k}{\rho C_p}$ ise termal difüzyivite olarak adlandırılır ve α (m^2 / s) ile gösterilir.

Isı Transferinde İç Dirence Karşı Dış Direncin Önemi

Şekilde gösterildiği gibi bir akışkana daldırılmış katı bir cisim ele alalım. Şayet akışkan ile katı cisim arasında bir sıcaklık farkı var ise termal denge oluşuncaya kadar iki madde arasında ısı transferi devam edecektir. Burada etkilenen noktayı katı cismin merkezi olarak kabul edersek, bu noktaya doğru gerçekleşecek olan ısı transferi iki farklı dirençle karşılaşacaktır:

- 1) Akışkandan kaynaklanan konvektif direnç*
- 2) Katıdan kaynaklanan kondüktif direnç*





Isı Transferinde İç Dirence Karşı Dış Direncin Önemi

Böyle bir durumda, iç direncin dış dirence oranı Biot sayısı (birimsiz) olarak verilmektedir (d = merkezi noktaya uzaklık).

$$N_{Bi} = \frac{hd}{k}$$

Burada:

$N_{Bi} > 40$ ise dış direnç ihmal edilir

$N_{Bi} < 0,1$ ise iç direnç ihmal edilir

$0,1 < N_{Bi} < 40$ ise ölçülebilir iç ve dış direnç vardır



Isı Transferinde İhmal Edilebilir İç Direnç

Böyle bir durum katı gıdalarda meydana gelmez, çünkü katı gıdaların termal iletkenliği nispeten düşüktür. Isı transferinde iç direncin ihmal edilebilmesi için katı cisim içerisinde sıcaklığın üniform dağılması gerekir. Bu durum termal iletkenliğin yüksek olmasıyla sağlanır ve buna genellikle metallerde rastlanır.



Isı Transferinde İhmal Edilebilir İç Direnç

Sıvılarda ise böyle bir duruma ulaşmanın yolu ısıtma esnasında sıvı ortamın sürekli olarak karıştırılmasıdır. Böylece lokasyona bağlı sıcaklık ve konsantrasyon değişiminin önüne geçilmiş olur. İç direncin ihmal edildiği durumlar için geliştirilen eşitlik şu şekildedir:

$$\frac{T_a - T}{T_a - T_i} = e^{-\left(\frac{hAt}{\rho C_p V}\right)}$$



Isı Transferinde İhmal Edilebilir İç Direnç

$T_a = \text{ortam sıcaklığı } (^\circ\text{C})$

$T_i = \text{cismin başlangıçtaki sıcaklığı } (^\circ\text{C})$

$T = \text{herhangi bir } t \text{ anındaki sıcaklık } (^\circ\text{C})$

$t = \text{zaman } (s)$

$A = \text{Alan } (m^2)$

$V = \text{hacim } (m^3)$



Isı Transferinde Ölçülebilir İç ve Dış Direnç ile İhmal Edilebilir Dış Direnç

Kararsız hal şartları için yazılan kısmi diferansiyel eşitliğin çözümü oldukça karmaşıktır ve sadece küre, sonsuz silindir ve sonsuz dilim gibi tanımlanmış şekiller için mümkündür. Bu karmaşıklığı gidermek için belirtilen geometrik şekillere ait sıcaklık zaman grafiklerinden faydalanılabilmektedir. Sıcaklık zaman grafiklerinin kullanımında birimsiz bir sayı olan Fourier sayısının tanımlanması gerekir.



Isı Transferinde Ölçülebilir İç ve Dış Direnç ile İhmal Edilebilir Dış Direnç

$$N_{Fo} = \frac{k}{\rho C_p} \cdot \frac{t}{d^2}$$

k = termal iletkenlik katsayısı ($W/m^{\circ}C$)

ρ = yoğunluk (kg/m^3)

C_p = spesifik ısı ($kJ/kg^{\circ}C$)

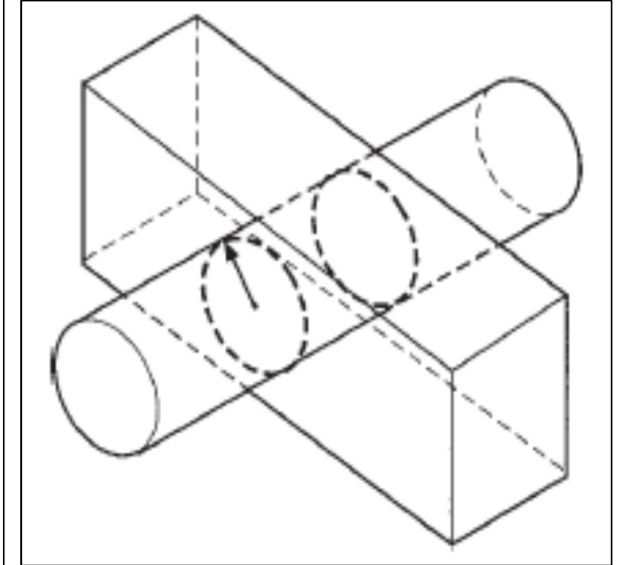
t = zaman (s)

d = karakteristik boyut = merkezi noktadan uzaklık (m)

Isı Transferinde Ölçülebilir İç ve Dış Direnç ile İhmal Edilebilir Dış Direnç

Sonlu silindir, sonsuz silindir ve sonsuz dilimden oluşmaktadır. Bu durum matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$\left(\frac{T_a - T}{T_a - T_i} \right)_{\text{sonlu silindir}} = \left(\frac{T_a - T}{T_a - T_i} \right)_{\text{sonsuz silindir}} \times \left(\frac{T_a - T}{T_a - T_i} \right)_{\text{sonsuz dilim}}$$





Isı Transferinde Ölçülebilir İç ve Dış Direnç ile İhmal Edilebilir Dış Direnç

Sonlu dilim ise sonsuz dilim genişlik, sonsuz dilim yükseklik ve sonsuz dilim uzunluktan oluşmaktadır. Bu durum ise matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$\left(\frac{T_a - T}{T_a - T_i} \right)_{\text{sonlu dilim}} = \left(\frac{T_a - T}{T_a - T_i} \right)_{\text{sonsuz dilim genişlik}} \times \left(\frac{T_a - T}{T_a - T_i} \right)_{\text{sonsuz dilim yükseklik}} \times \left(\frac{T_a - T}{T_a - T_i} \right)_{\text{sonsuz dilim uzunluk}}$$