



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](http://atauni.edu.tr)    Atauni1957



# KONVEKSİYONLA ISI TRANSFERİ

- **Prandtl Sayısı ( $N_{Pr}$ )**

*Prandtl sayısının tespit edilmesinde*

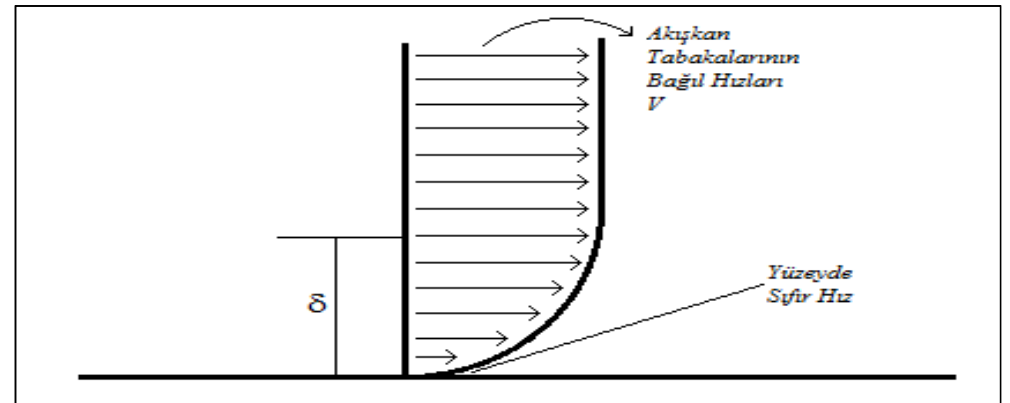
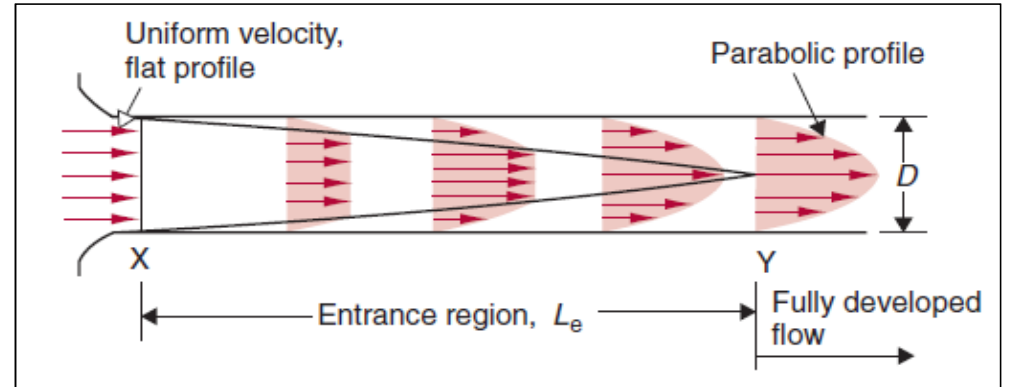
- *hidrodinamik sınır tabakası*
- *termal sınır tabakası*

*kullanılmaktadır. Bu nedenle öncelikle bu kavramların anlaşılmasına ihtiyaç vardır.*

# KONVEKSİYONLA ISI TRANSFERİ

- *Hidrodinamik Sınır Tabakası:*

*Bir boru içerisinde akışkan bir madde akarken, bu akışkan maddenin viskoz özelliklerinden dolayı bir hız profili oluşmaktadır. Boru içerisinde akmakta olan akışkanın üst üste istiflenmiş tabakalardan meydana geldiğini varsayalım.*





# KONVEKSİYONLA ISI TRANSFERİ

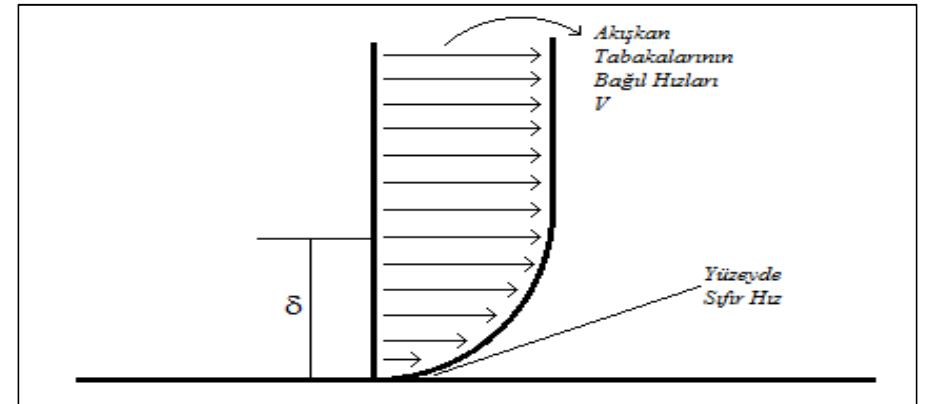
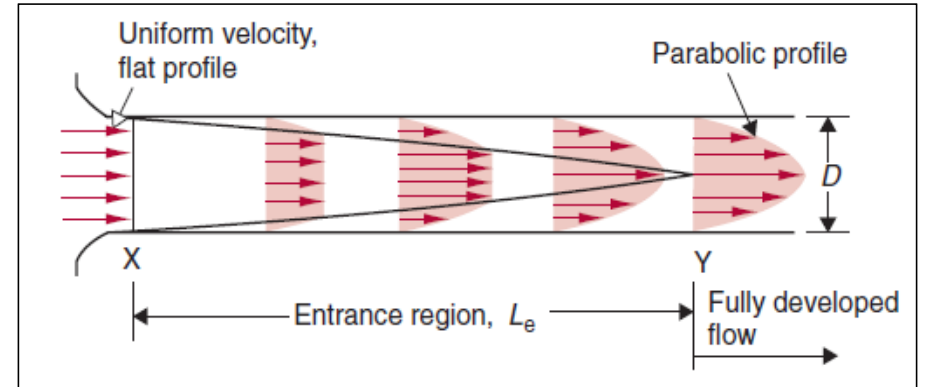
- *Hidrodinamik Sınır Tabakası:*

*Boru duvarlarına bitişik ilk akışkan tabakasındaki parçacıkların hızı kaymama şartı sebebiyle sıfır olur. Hızları farklı bu bitişik iki akışkan tabakasından hareketsiz olanı, aralarındaki sürtünme sonucu diğer akışkan tabakasındaki parçacıkları yavaşlatır. Daha sonra bu akış tabakası bir sonraki tabakanın moleküllerini yavaşlatır; o da bir sonrakini...*

# KONVEKSİYONLA ISI TRANSFERİ

## • Hidrodinamik Sınır Tabakası:

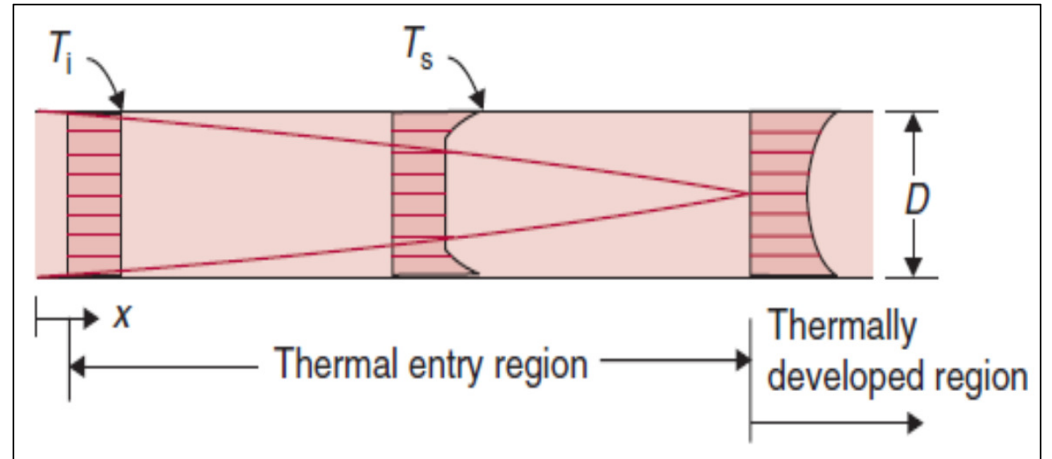
Böylece boru duvarlarının varlığı serbest akım hızının aslında değişmeden kaldığı, plakaya dik bir  $\delta$  uzaklığına kadar hissedilir. İçinde akışkan viskozitesinin yol açtığı kayma kuvveti etkilerinin hissedildiği  $\delta$  kalınlığındaki akış bölgesine hız sınır tabakası veya hidrodinamik sınır tabakası adı verilmektedir.



# KONVEKSİYONLA ISI TRANSFERİ

- *Termal Sınır Tabaka:*

*Belirli bir sıcaklıktaki akışkan farklı sıcaklıktaki bir yüzey üzerinde aktığı zaman bir termal sınır tabakası oluşmaktadır.  $T_s$  sabit sıcaklığındaki boru duvarları içinde  $T_i$  üniform sıcaklıkta bir akışkanın akışını göz önüne alalım.*

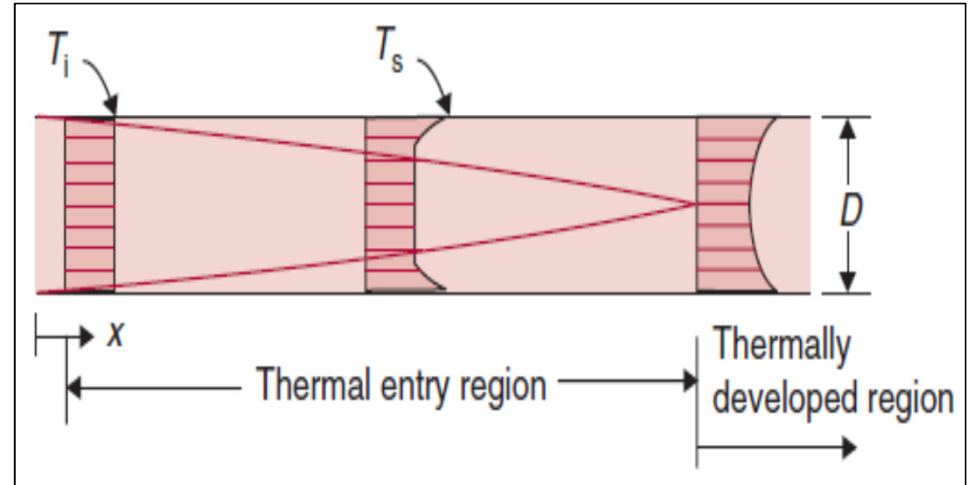


*Yüzeyle bitişik tabakalardaki akışkan parçacıkları, yüzeyler ile ısıl dengeye ulaşır ve sıcaklıkları  $T_s$  yüzey sıcaklığı olur.*

# KONVEKSİYONLA ISI TRANSFERİ

- *Termal Sınır Tabaka:*

*Sonra bu akışkan parçacıkları, bitişindeki akışkan tabakasındaki parçacıklarla ve her bir tabakadakiler kendi bitişiklerindekiyle enerji alış verişi yaparlar. Sonuç olarak akış bölgesinde  $T_s$  'den yüzeyden yeterince uzakta  $T_i$  'ye kadar değişen bir sıcaklık profili gelişir.*



*Yüzey üzerinde, içinde yüzeye dik doğrultuda sıcaklık değişiminin önemli olduğu bu akış bölgesi termal sınır tabakasıdır.*



# KONVEKSİYONLA ISI TRANSFERİ

- **Prandtl Sayısı ( $N_{Pr}$ )**

*Böylece belli bir sıcaklığa sahip bir akışkan, bir boru içerisinden akarken bir hidrodinamik sınır tabakası ile bir termal sınır tabakası gelişmektedir. Bu sınır tabakaları, akışkan ile boru yüzeyleri arasındaki ısı transfer hızı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Prandtl sayısı ( $N_{Pr}$ ), termal sınır tabakasına göre hidrodinamik sınır tabakasının kalınlığını tanımlar. Böylece momentumun moleküler yayılımının, ısının moleküler yayılımına oranı  $N_{Pr}$  sayısını vermektedir.*





# KONVEKSİYONLA ISI TRANSFERİ

- **Prandtl Sayısı ( $N_{Pr}$ )**

$$N_{Pr} = \frac{\text{momentumun molekuler yayılımı}}{\text{ısının molekuler yayılımı}} = \frac{\text{kinematik viskozite}}{\text{termal yayılım}}$$

$$N_{Pr} = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\frac{\mu}{\rho}}{\frac{k}{\rho C_p}} \Rightarrow N_{Pr} = \frac{\mu C_p}{k}$$



# KONVEKSİYONLA ISI TRANSFERİ

$N_{Pr}$  = Prandtl Sayısı (boyutsuz)

$\nu$  = kinematik viskozite ( $m^2/s$ )

$\alpha$  = Termal Difuzivite ( $m^2/s$ )

$\mu$  = dinamik viskozite ( $kg/ms, Pa.s$ )

$\rho$  = yoğunluk ( $kg/m^3$ )

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

$C_p$  = Spesifik ısı ( $J/kg^\circ C$ )



# KONVEKSİYONLA ISI TRANSFERİ

$N_{Pr} = 1 \Rightarrow$  hidrodinamik ve termal sınır tabakalarının kalınlıkları aynıdır.

$N_{Pr} \ll 1 \Rightarrow$  ısının moleküler yayılımı, momentumunkinden çok daha fazladır.

Isı, sıvı metallerde momentuma göre çok daha hızlı ( $N_{Pr} \ll 1$ ), ağır yağlarda ise çok daha yavaş ( $N_{Pr} \gg 1$ ) yayılmaktadır. Gazlar için yaklaşık olarak  $N_{Pr} = 0,7$  civarında iken, su için  $N_{Pr} = 10$  civarındadır.



# KONVEKSİYONLA ISI TRANSFERİ

- **Nusselt Sayısı ( $N_{Nu}$ )**

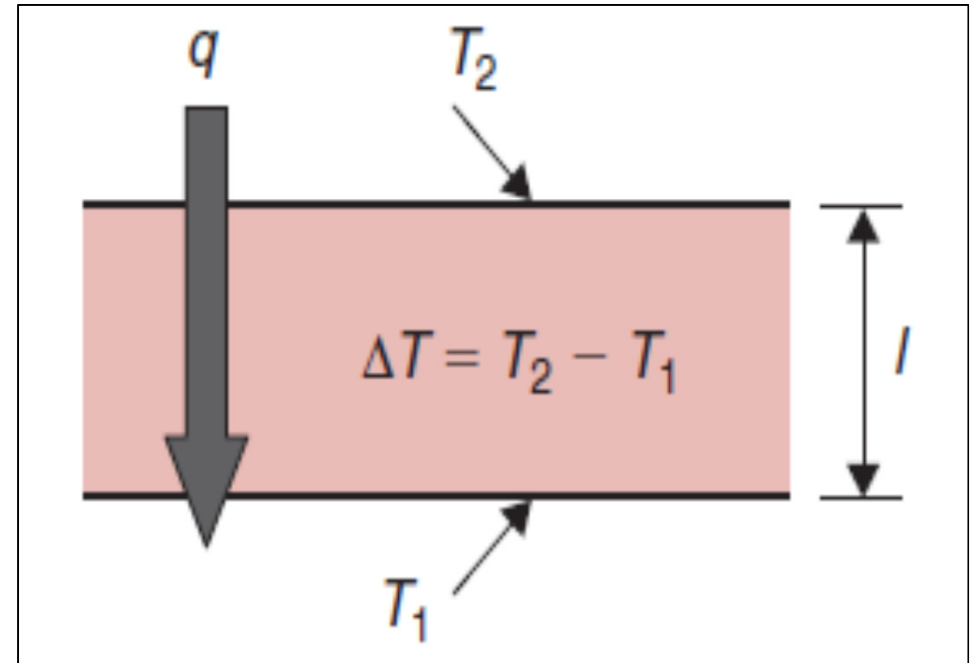
*Nusselt sayısı, konvektif ısı transfer katsayısının ( $h$ ), boyutsuz olarak ifade edilmesinde kullanılmaktadır. Şekildeki gibi kalınlığı  $l$  ve sıcaklık farkı  $\Delta T = T_1 - T_2$  olan bir akışkan tabakasını dikkate alırsak, akışkan tabakasındaki ısı transferinin akışkan hareketliyen konveksiyonla, hareketsizken ise kondüksiyonla gerçekleşeceğini söylemek mümkündür. Böylece Nusselt sayısı bu iki duruma ait ifadelerin oranı olarak tanımlanır.*

# KONVEKSİYONLA ISI TRANSFERİ

- **Nusselt Sayısı ( $N_{Nu}$ )**

$$N_{Nu} = \frac{q_{konveksiyon}}{q_{kondüksiyon}} = \frac{hA\Delta T}{\frac{kA\Delta T}{l}}$$

$$N_{Nu} = \frac{hl}{k}$$





# KONVEKSİYONLA ISI TRANSFERİ

- **Nusselt Sayısı ( $N_{Nu}$ )**

*Burada kalınlık ifadesi olan  $l$ , daha genel bir ifade olarak karakteristik boyutu simgeleyen  $D$  ile gösterilirse, Nusselt sayısı şu şekilde ifade edilecektir.*

$$N_{Nu} = \frac{hD}{k}$$



# KONVEKSİYONLA ISI TRANSFERİ

$N_{Nu}$  = Nusselt sayısı (boyutsuz)

$h$  = konvektif ısı transfer katsayısı ( $W/m^2\text{°C}$ )

$D$  = karakteristik boyut (m)

$k$  = Termal iletkenlik katsayısı ( $W/m\text{°C}$ )



## KONVEKSİYONLA ISI TRANSFERİ

$N_{Nu}$  bir akışkan tabakasında konveksiyonun kondüksiyona oranının bir sonucu olarak, o akışkan tabakasındaki ısı transferi iyileşmesini gösterir.

$N_{Nu}$  ne kadar büyük olursa konveksiyon da o kadar etkili olur.  $N_{Nu} = 1$  olması, o tabaka içerisinde ısı transferinin salt kondüksiyonla gerçekleştiğini ve konveksiyondan dolayı ısı transfer hızında bir iyileşmenin olmadığını gösterir.





## KONVEKSİYONLA ISI TRANSFERİ

*$N_{Nu} = 5$  olması, akışkan hareketinden kaynaklanan konvektif ısı transfer hızının, katı yüzeyi ile temas halindeki akışkanın durgun olması halinde meydana gelecek ısı transfer hızına göre 5 kat daha hızlı olduğunu gösterir. Sıcak bir yüzey üzerine hava üflenerek onun daha hızlı bir şekilde soğumasının sağlanması, Nusselt sayısının ve dolayısıyla ısı transfer hızının artırılmasından kaynaklanmaktadır.*