

12. HAFTA
ZORLANMIŞ DIŞ TAŐINIM

SİLİNDİR VE KÜRELER ÜZERİNDE ÇAPRAZ AKIŞ

Silindir ve küreler üzerinde çapraz akışa çok sık rastlanır. Gövde – borulu ısı değiştiricilerdeki borular, hem boruların içinde iç akış hem de borular üzerinde dış akış içerirler.

Futbol, tenis ve golf gibi birçok spor da küre biçiminde toplar üzerinde akış içerir.

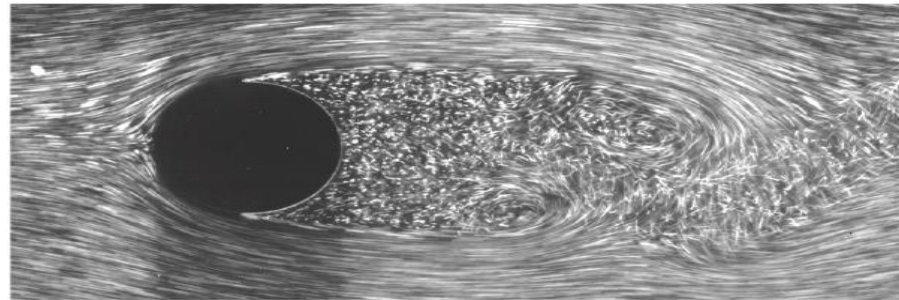
Dairesel bir silindir veya kürede karakteristik uzunluk olarak dış çap D alınır. Dolayısıyla Reynolds sayısı $Re = VD / \nu$ olarak tanımlanır; burada V silindir veya küreye yaklaşmakta olan akışkanın üniform hızıdır. Bir silindir ve küre üzerindeki akışta kritik Reynolds sayısı yaklaşık $Re_{kr} \cong 2 \times 10^5$ 'dir. Yani, sınır tabaka yaklaşık olarak $Re \geq 2 \times 10^5$ ise laminar kalır ve $Re \geq 2 \times 10^5$ ise türbülanslı olur.

Çok düşük üst akım hızlarında ($Re \leq 1$) akışkan silindiri tamamıyla sarar. Akışkanın iki kolu silindirin arka tarafında düzenli bir şekilde birleşir.

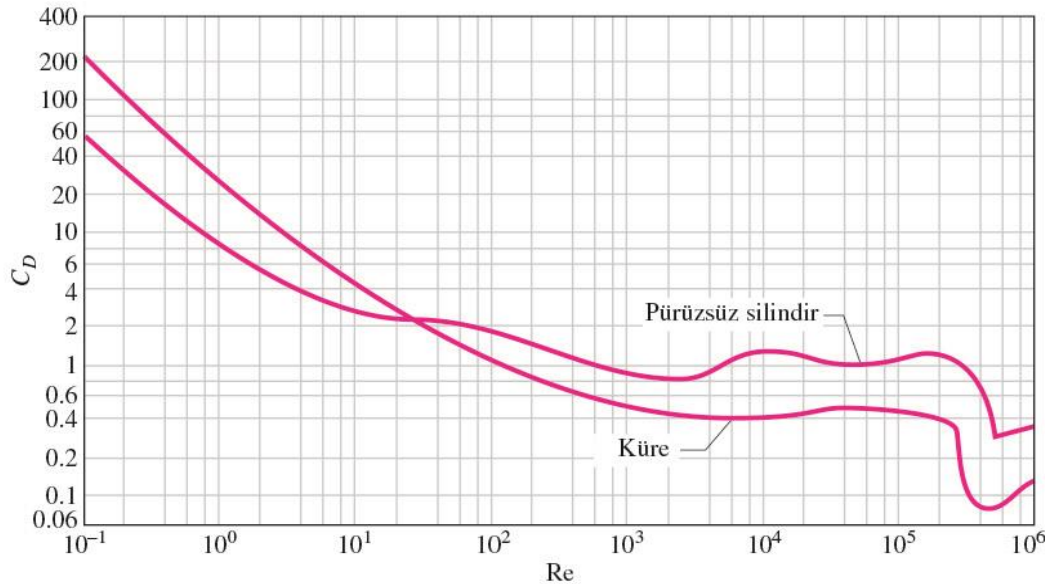
ŞEKİL 7-16

Bir türbülans ard izi ile laminar sınır tabaka ayrılması; $Re = 2000$ 'de dairesel bir silindir üzerindeki akış.

Fotoğraf: Werlé, ONERA'nın izniyle.



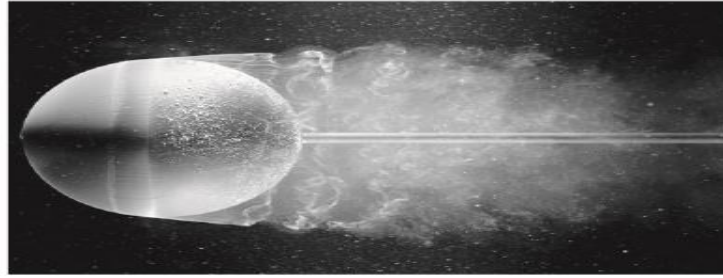
- Ard izi bölgesindeki akışın, periyodik burgaç oluşumu ve basınçların durma noktasındaki basınçtan çok daha düşük olmasıyla tanımlanır.
- Bir silindir veya küre üzerindeki akışın karakteri, hem sürtünme direnci ve hem de basınç direnci önemli olabilir.
- Durma noktası yakınındaki yüksek basınç ve aksi tarafa ard izi bölgesindeki düşük basınç, cisim üzerindeki akış üzerinde net bir kuvvet doğurur.
- Düşük Reynolds sayılarında ($Re < 10$) öncelikle sürtünme direnci, yüksek Reynolds sayılarında ($Re > 500$) ise öncelikle basınç direnci sebebiyle direnç kuvveti oluşur.



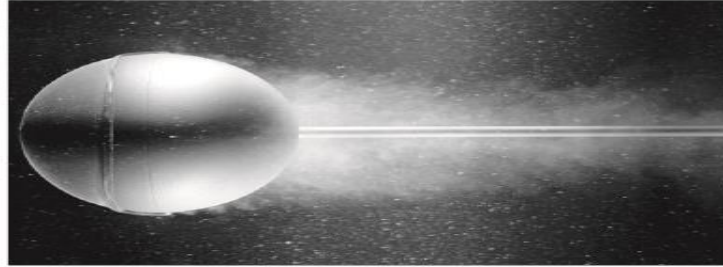
ŞEKİL 7-17

Bir pürüzsüz dairesel silindir ve bir pürüzsüz küre üzerindeki çapraz akış için ortalama direnç katsayısı.

H. Schlichting, Boundary Layer Theory 7e'den.
 Copyright © 1979 The McGraw-Hill Companies,
 Inc. İzni ile kullanılmıştır.



(a)



(b)

ŞEKİL 7-18

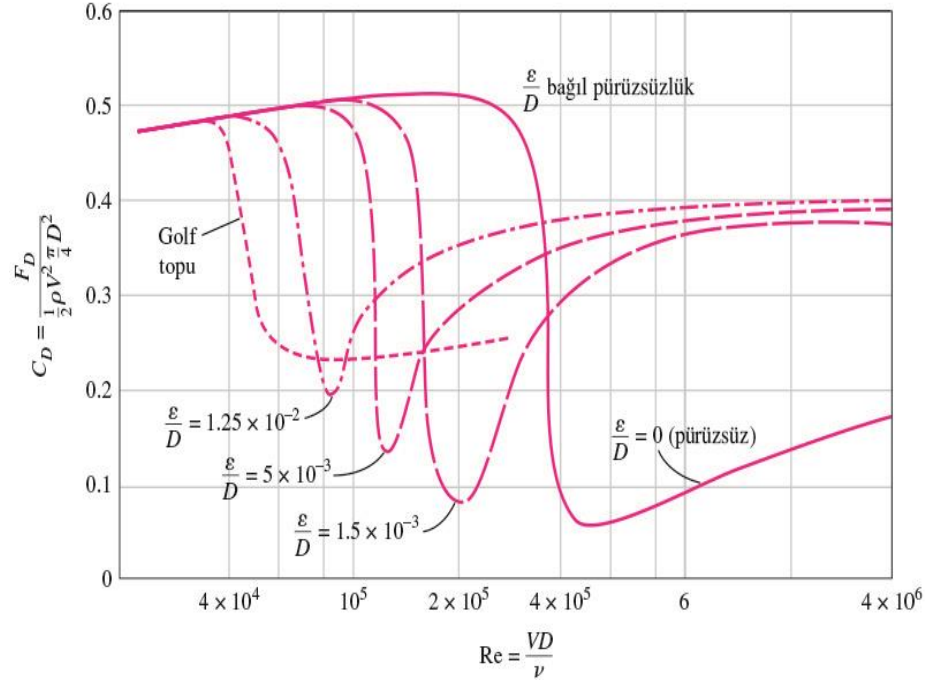
(a) $Re = 15,000$ 'de bir pürüzsüz küre ve (b) $Re = 30,000$ 'de bir akış bozucu telli bir küre üzerinde akış görüntülenmesi. Sınır tabaka ayrılması gecikmesi iki fotoğraf karşılaştırılarak açıkça görülebilir.

Fotoğraf: Werlé, ONERA'nın izniyle.

Akış ayrılması, sınır tabaka laminar olduğu zaman $\theta \cong 80^\circ$ (silindirin ön durma noktasından ölçülür.) civarında; türbülanslı olduğu zaman ise $\theta \cong 140^\circ$ civarında gerçekleşir.

Yüzey Pürüzlülüğünün Etkisi

Yüzey pürüzlülüğünün genellikle direnç katsayısının artırır. Bu durum özellikle **akım çizgili** cisimler için geçerlidir. Ancak, **dairesel, silindir veya küre gibi küt cisimlerde** yüzey pürüzsüzlüğündeki artış, genellikle direnç katsayısını azaltabilir.



ŞEKİL 7-19

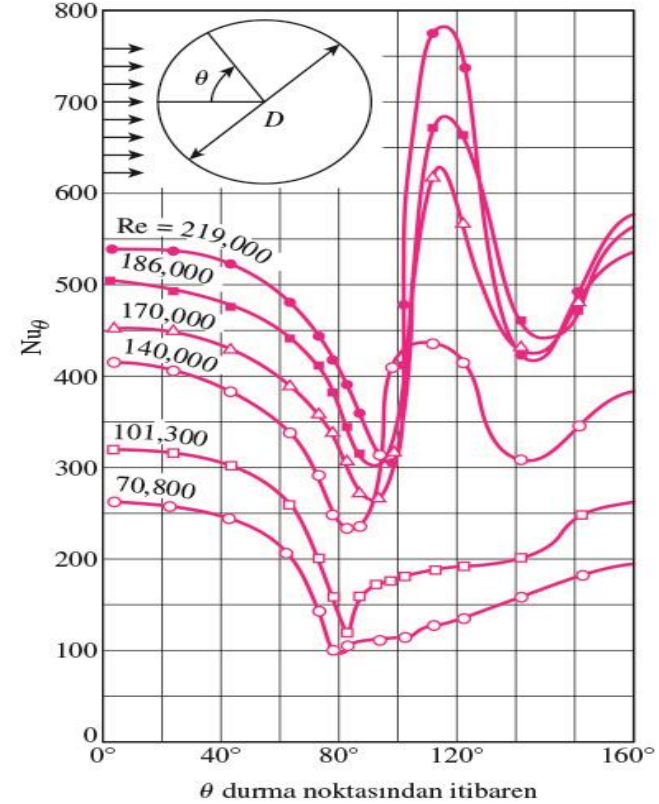
Yüzey pürüzlülüğünün bir kürenin direnç katsayısı üzerinde etkisi.

Blevins (1984).

Isı Transfer Katsayısı

Silindir ve küre üzerindeki akışlar genellikle, analitik olarak ele alınması zor akış ayrılması içerir.

Gerçekten, silindir ve küre üzerindeki akışlar birçok araştırmacı tarafından deneysel olarak araştırılmış ve ısı transfer katsayısı için çeşitli ampirik bağıntılar geliştirilmiştir.



ŞEKİL 7-22

Havanın çapraz akışında bir silindirin çevresi boyunca yerel ısı transfer katsayısının değişimi (Giedt, 1949).

For flow over a *cylinder*

$$\text{Nu}_{\text{cyl}} = \frac{hD}{k} = 0.3 + \frac{0.62 \text{Re}^{1/2} \text{Pr}^{1/3}}{[1 + (0.4/\text{Pr})^{2/3}]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{\text{Re}}{282,000} \right)^{5/8} \right]^{4/5} \quad \text{RePr} > 0.2$$

The fluid properties are evaluated at the *film temperature* $T_f = \frac{1}{2}(T_\infty + T_s)$

For flow over a *sphere*

$$\text{Nu}_{\text{sph}} = \frac{hD}{k} = 2 + [0.4 \text{Re}^{1/2} + 0.06 \text{Re}^{2/3}] \text{Pr}^{0.4} \left(\frac{\mu_\infty}{\mu_s} \right)^{1/4}$$

$$3.5 \leq \text{Re} \leq 80,000 \text{ and } 0.7 \leq \text{Pr} \leq 380$$

The fluid properties are evaluated at the free-stream temperature T_∞ , except for μ_s , which is evaluated at the surface temperature T_s .

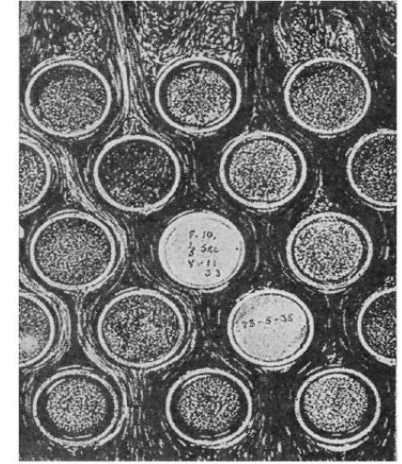
$$\text{Nu}_{\text{cyl}} = \frac{hD}{k} = C \text{Re}^m \text{Pr}^n \quad n = \frac{1}{3} \quad \text{Constants } C \text{ and } m \text{ are given in the table.}$$

Silindirler için yukarıdaki bağıntılar, tek silindirler veya –üzerlerindeki akış diğerlerinin varlığından etkilenmeyecek şekilde yerleştirilen- silindirler içindir.

BORU DEMETLERİ ÜZERİNDE ÇAPRAZ AKIŞ

- Boru demetleri üzerindeki çapraz akışa, çoğunlukla güç santrallerinin **yoğuşturucu ve buharlaştırıcıları**, buzdolapları ve hava şartlandırıcılar gibi ısı transfer aygıtlarında çok rastlanır.
- Bu gibi aygıtlarda akışkanlardan biri boruların içinden akarken, diğer akışkan borular üzerinden ve borulara **dik yönde** hareket eder.
- Borular içinde akış, tek borudaki akış dikkate alınıp sonuçlar boru sayısı ile çarpılarak çözümlenebilir.
- Borular üzerinde akışta durum böyle değildir.
- Alt akıştaki akış deseni ile türbülans düzeyini ve dolayısıyla borulardan (veya borulara) olan ısı transferini etkiler.
- Bir boru demetindeki borular, akış doğrultusunda sıralı veya şaşırtmalı olarak düzenlenirler.
- Bir boru demetinde boruların düzeni, akışa göre boru eksenleri arasında enine adım S_T , boyuna adım S_L ve köşegen adım S_D ile tanımlanır.

Akış
doğrultusu
↑



ŞEKİL 7-25

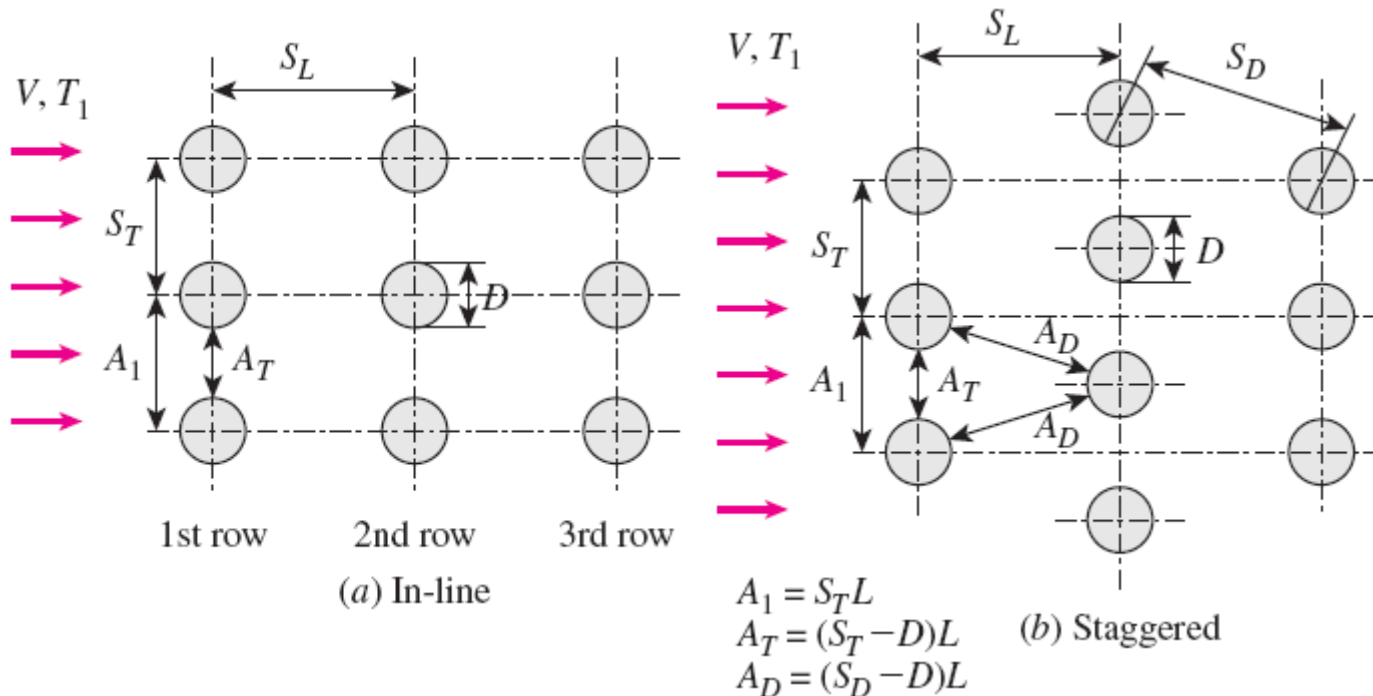
Şaşırtmalı ve sıralı boru demetleri için akış örnekleri
(fotoğraflar R. D. Willis)

$$S_D = \sqrt{S_L^2 + (S_T/2)^2} \quad \text{diagonal pitch} \quad \text{Re}_D = \frac{\rho V_{\max} D}{\mu} = \frac{V_{\max} D}{\nu}$$

$$\rho V A_1 = \rho V_{\max} A_T \quad V_{\max} = \frac{S_T}{S_T - D} V$$

$$\text{Staggered and } S_D < (S_T + D)/2: \quad V_{\max} = \frac{S_T}{2(S_D - D)} V$$

$$\rho V A_1 = \rho V_{\max} (2A_D) \text{ or } V S_T = 2V_{\max} (S_D - D)$$



Boruların sıralı ve şaşırtmalı boru demetinde dizilişi (A_1 , A_T , A_D belirli konumlardaki akış alanlarıdır ve L boruların uzunluğudur).

$$Nu_D = \frac{hD}{k} = C Re_D^m Pr^n (Pr/Pr_s)^{0.25}$$

$$T_m = \frac{T_i + T_e}{2}$$

All properties except Pr_s are to be evaluated at the arithmetic mean temperature.

Correlations in Table 7-2

Tablo 7-2 'deki ortalama Nusselt sayısı bağıntıları, 16 veya daha fazla sıralı boru demetleri içindir.

$$Nu_{D, N_L < 16} = F Nu_D \quad N_L < 16$$

Bu bağıntılar N_L tane boru sıra sayılı boru demetleri için de kullanılabilir; burada F değerleri Tablo 7-3 'te verilen F düzeltme faktörüdür.

$Re_D > 1000$ için düzeltme faktörü Reynolds sayısından bağımsızdır.

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_s - T_e) - (T_s - T_i)}{\ln[(T_s - T_e)/(T_s - T_i)]} = \frac{\Delta T_e - \Delta T_i}{\ln(\Delta T_e / \Delta T_i)}$$

Log mean temperature difference

Exit temperature

$$T_e = T_s - (T_s - T_i) \exp\left(-\frac{A_s h}{\dot{m} c_p}\right) \quad A_s = N\pi DL \quad \dot{m} = \rho V(N_T S_T L)$$

$$\dot{Q} = hA_s \Delta T_{lm} = \dot{m} c_p (T_e - T_i)$$

Heat transfer rate

Pressure drop

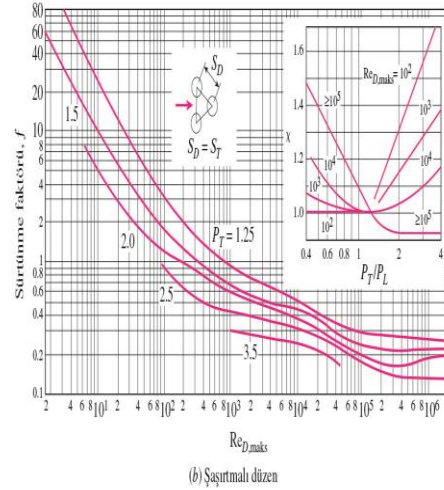
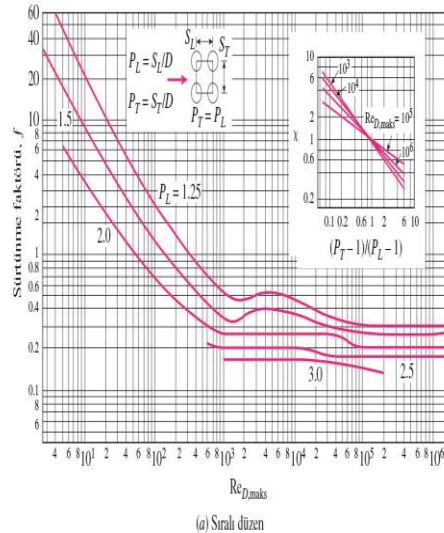
$$\Delta P = N_L f \chi \frac{\rho V_{\max}^2}{2}$$

$$\dot{W}_{\text{pump}} = \dot{V} \Delta P = \frac{\dot{m} \Delta P}{\rho}$$

$$\dot{V} = V(N_T S_T L)$$

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = \rho V(N_T S_T L)$$

- Burada **f** sürtünme faktörü ve **x** düzeltme faktörüdür.
- Sürtünme faktörü, karesiz bir boru demeti içindir ve iç grafikteki düzeltme faktörü, dikdörtgen sıralı düzenlemenin kare düzenlemeden sapmasının etkilerini hesaba katmak için kullanılmıştır.



ŞEKİL 7-27

Boru demetleri için sürtünme faktörü f ve düzeltme faktörü x (Zukauskas, 1985).