

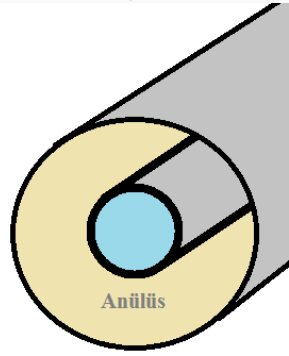
# ISI DEĞİŞTİRİCİLER

**DR. HÜLYA ÇAKMAK**

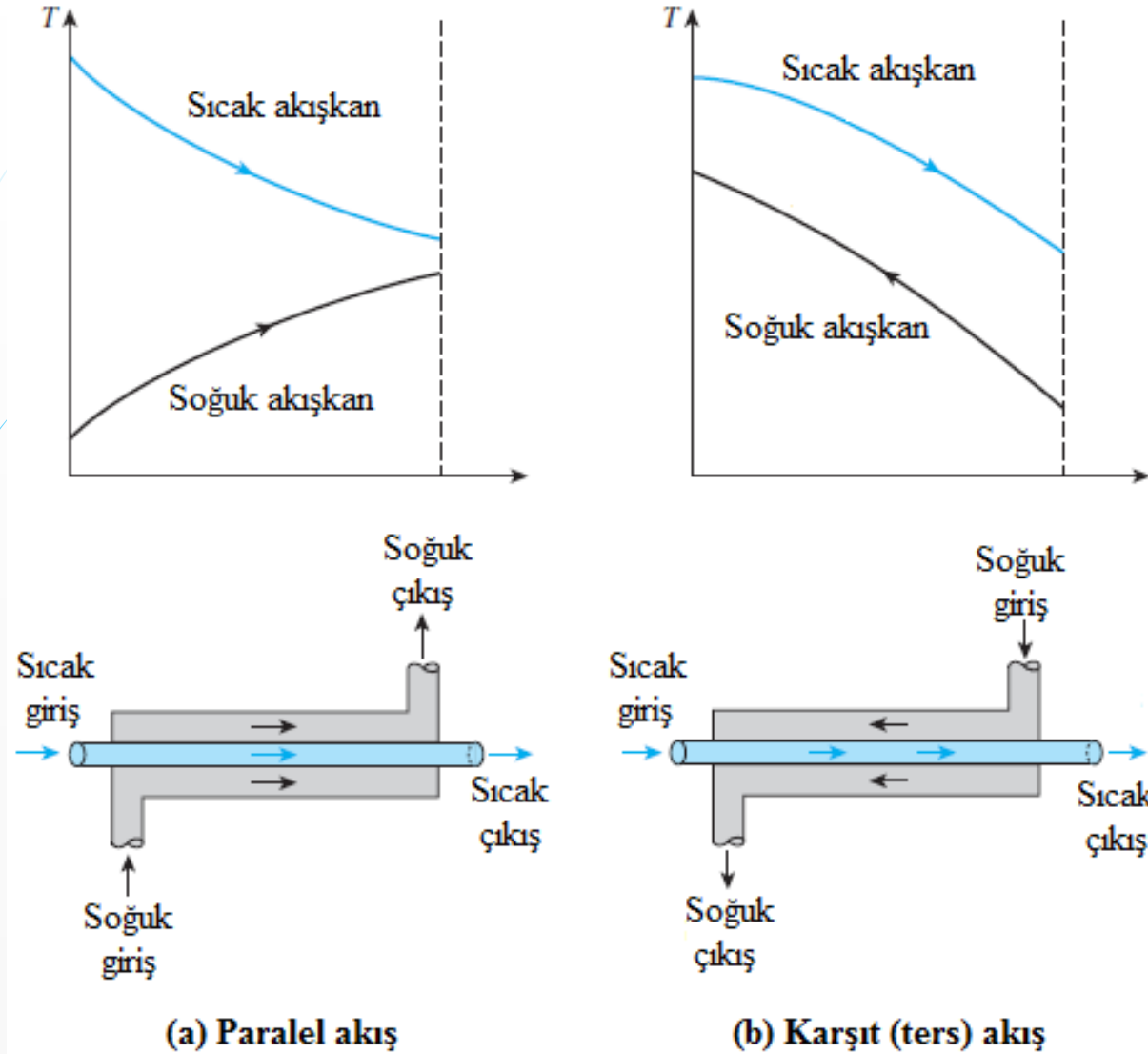
# ISI DEĞIŞTİRİCİLER

- Endüstride iki akışkan arasında ısı aktarımı genellikle ısı değiştiriciler kullanılarak gerçekleştirilir. En yaygın şekilde bir sıcak akışkan bir soğuk akışkan ile direk olarak temas etmeden bir boru veya düz/eğimli bir yüzey ile ayrılmaktadır. Sıcak akışkandan duvar veya boruya ısı aktarışımı taşınım ile olurken, duvar/plaka boyunca iletimle ısı aktarılır ve daha sonra yine taşınım ile soğuk akışkana ısı aktarılır.
- En basit ısı değiştirici tipi **çift-borulu ısı deđiőtiricidir**.

Bir akışkan içerideki küçük çaplı borudan akarken, diğer bir akışkan iki borunun arasında kalan **anülüs** kısmından akmaktadır.



# ÇİFT-BORULU ISI DEĞİŞTİRİCİLER

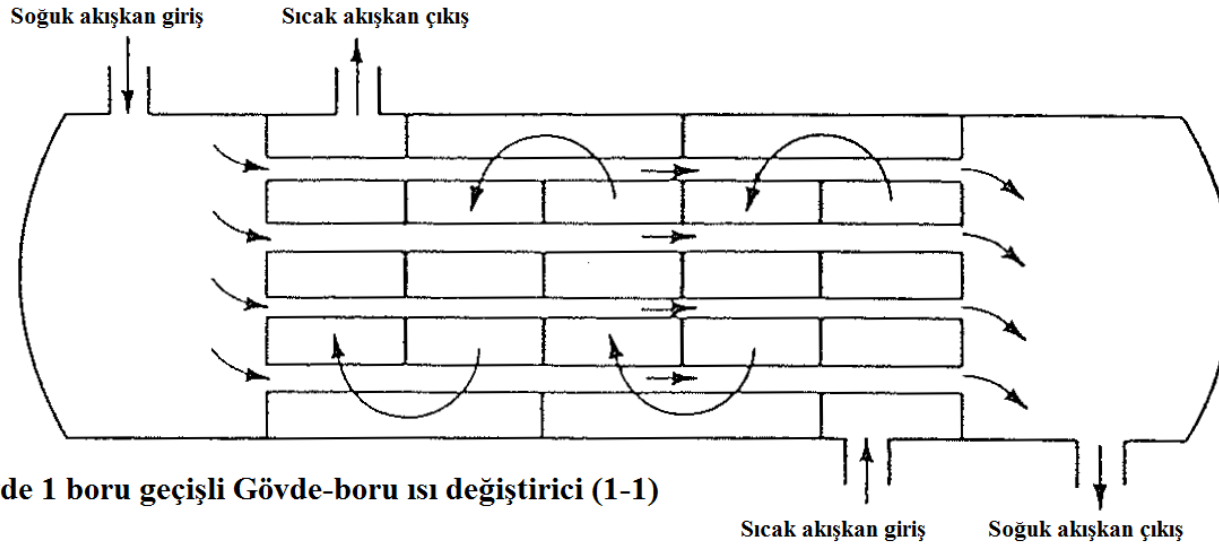


**Şekil 1.** Çift-borulu ısı değıştircilerde farklı akış rejimleri ve onlara ait sıcaklık profilleri

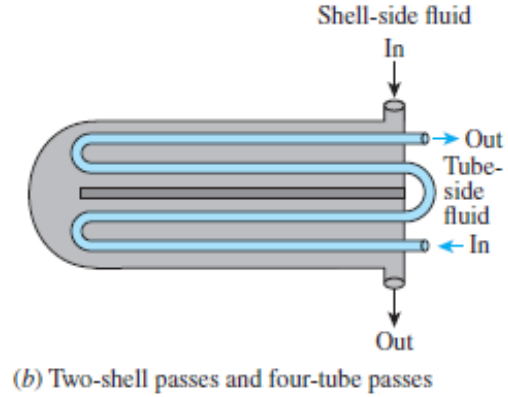
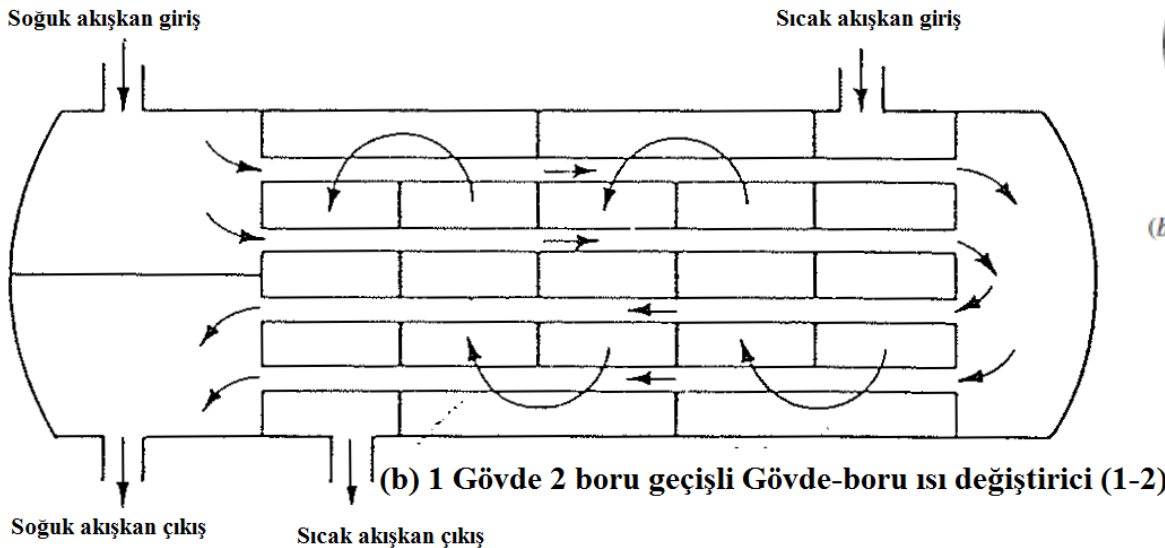
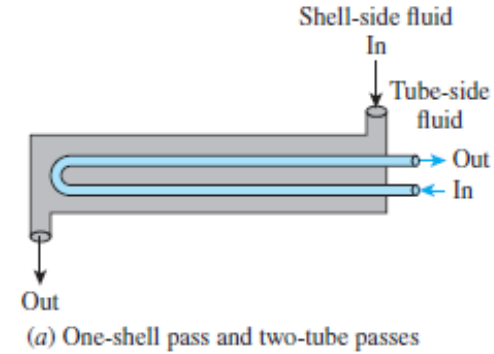
# GÖVDE BORU ISI DEĞİŞTİRİCİ

- Akışkan miktarları fazlaysa proses endüstrisinde en fazla kullanılan ısı değıştirici türü ise gövde-boru ısı değıştiricidir. Bu ısı değıştiricilerde akış süreklidir. Birbirine paralel olan boru demetlerinin içinden bir akışkan geçerken, diğerk akışkan ise boruların içinde bulunduğugövdeden boruların dış kısmından akmaktadır.
- En basit çeşidi 1 gövde 1 boru (1-1) geçişli ters akışlı ısı değıştiricidir. Soğuk akışkan birbirine paralel boruların içerisinden tek bir geçişle akarken sıcak akışkan başka bir taraftan ısı değıştiriciye girerek ters akışla boruların dış yüzeyinden akmaktadır.
- Diğerk çeşidinde ise boruların içinden 2 geçişle akarken gövde tarafından 1 geçişle akış (1-2) olmaktadır.

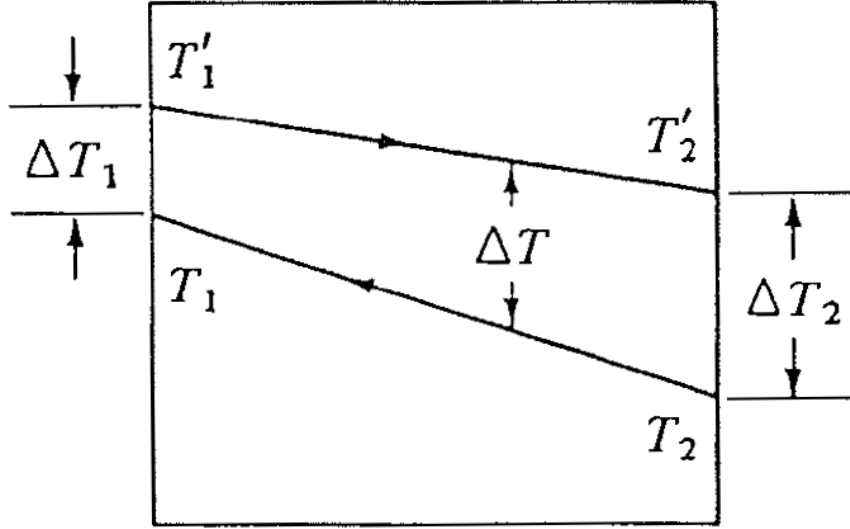
# GÖVDE BORU ISI DEĞİŞTİRİCİ



(a) 1 Gövde 1 boru geçişli Gövde-boru ısı değıştirci (1-1)

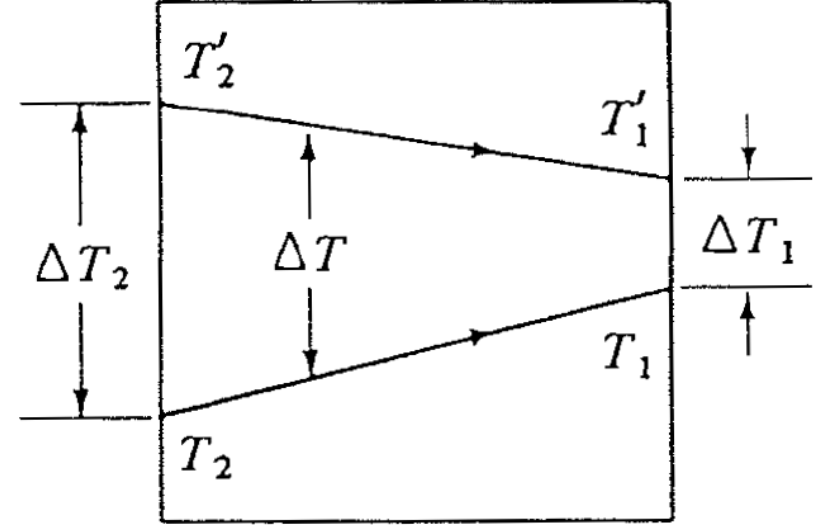


# ÇİFT-BORULU ISI DEĞİŞTİRİCİDE ISI AKTARIMI



Mesafe

(a) Karşıt akış



Mesafe

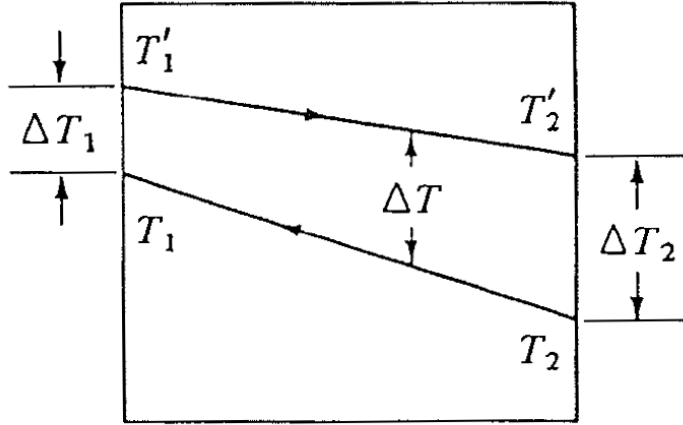
(b) Paralel akış

## Tek geçişli çift-borulu ısı değıştiriciler için sıcaklık profili

Bir ısı değıştiriciden ısıtılmak/soğutulmak için geçen akışkanın mesafeye bağı olarak ısı değıştiricide sıcaklığı ( $T_1 \neq T_2$ ,  $T_1' \neq T_2'$ ) değışmektedir. Dolayısıyla ısı değıştiricide ısı aktarım denkliğinde  $\Delta T_{lm}$  kullanılmalıdır.

Şekil a'da gösterildiğı gibi çift borulu ısı değıştiricide karşıt akışta sıcak suyun içteki borudan aktığı durumda bu akışkan için sıcaklık  $T_1'$  den  $T_2'$  ye düşerken soğuk akışkanın sıcaklığı da  $T_2'$  den  $T_1'$  e yükselmektedir.

# ÇİFT-BORULU ISI DEĞİŞTİRİCİDE ISI AKTARIMI



Mesafe

(a) Karşıt akış

Şekil a'daki iki akışkan için ısı aktarım denkliği yazılacak olursa;

$$q = UA\Delta T_{lm}$$

burada U toplu ısı aktarım katsayısıdır.

$$\Delta T_{lm} = \frac{(\Delta T_1 - \Delta T_2)}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

Aynı denklimler paralele akış için de kullanılabilir.

**Örn.** Ortalama  $c_p=2.3$  kJ/kgK olan bir madeni yağ çift borulu ısı değıştircinin içteki borusundan 3630 kg/h debiyle akarken 371.9 K'den 349.7 K'e soğutulacaktır. Bu amaçla dıştaki borudan 1450 kg/h debiyle su 288.6 K'de su ısı değıştirciye beslenmiştir. (a) Suyun çıkış sıcaklığını ve yüzey alanını toplu ısı transfer katsayısı  $U_i=340$  W/m<sup>2</sup>K ve akışın ters akış olduğu durum için bulunuz. (b) Paralel akış için aynı sonuçları hesaplayınız. (Su için ortalama  $c_p=4.187$  kJ/kgK alınabilir.)

$$a) q_{yağ} = 3630 \text{ kg/h} \times 2.3 \text{ kJ/kgK} \times (371.9 - 349.7) \text{ K} = 185347.8 \text{ kJ/h} = 51485.5 \text{ W}$$

$$\text{Isı denkliği kurulursa } q_{yağ} = q_{su} = 185347.8 \text{ kJ/h} = 1450 \text{ kg/h} \times 4.187 \times (T_1 - 288.6) \rightarrow T_1 = 319.1 \text{ K}$$

$$\text{Log ort sıcaklık hesaplanırsa } \Delta T_{lm} = \frac{(\Delta T_1 - \Delta T_2)}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} = \frac{(61.1 - 52.8)}{\ln(61.1 / 52.8)} = 56.85 \text{ K}$$

$$q = U_i A_i \Delta T_{lm} = 340 \text{ W/m}^2\text{K} \times A_i \times (56.85 \text{ K}) \rightarrow A_i = 2.66 \text{ m}^2 \quad (b) \Delta T_{lm} = 52.7 \text{ K}, A_i = 2.87 \text{ m}^2$$

# GÖVDE-BORU ISI DEĞİŞTİRİCİDE ISI AKTARIMI

Çift borulu ısı değiştiriciye benzer şekilde gövde-boru ısı değiştiricide de ısı aktarım denkliği logaritmik ortalama sıcaklık kullanılarak hesaplanmaktadır.

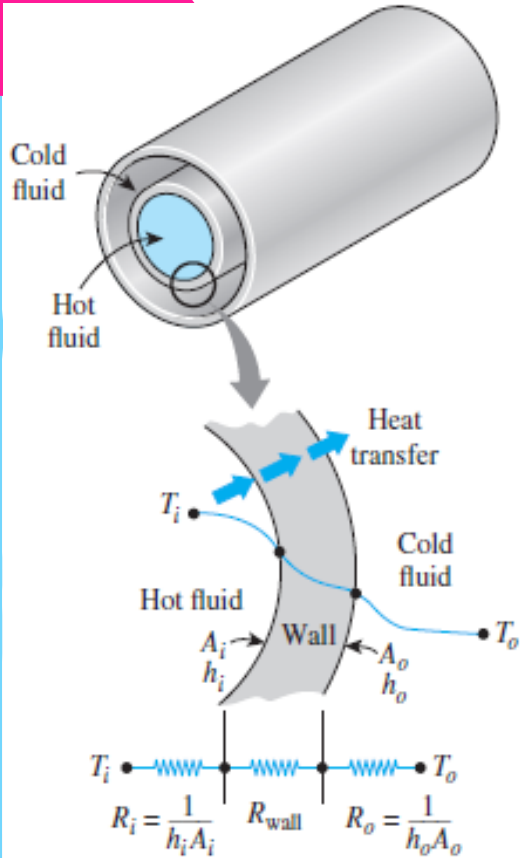
$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln[(T_{h,i} - T_{c,o}) / (T_{h,o} - T_{c,i})]}$$

Isı aktarım denkliği yazılırsa;

$$q = U_i A_i \Delta T_{lm} = U_o A_o \Delta T_{lm}$$



# TOPLU ISI TRANSFER KATSAYISI (U)



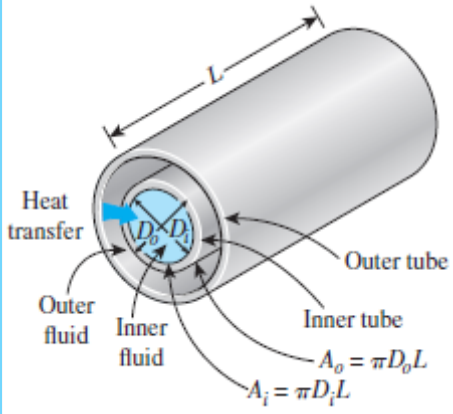
Çift borulu ısı değiştiricide iki akışkanın metal bir duvar ile ayrıldığı düşünöldüğünde ısı ilk olarak sıcak akışkandan duvara taşınımla aktarılır, duvar boyunca iletimle aktarılır ve duvardan da soğuk akışkana yine taşınımla aktarılır. Direnç olarak bu ısı aktarımlarını toplu halde yazdığımızda;

$$R_{duvar} = \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi kL} \text{ (boru kalınlığı boyunca iletim)}$$

$$R_{top} = R_i + R_{duvar} + R_o = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o A_o}$$

$A_i = \pi D_i L$  ve  $A_o = \pi D_o L$  old. için;

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{top}} = U_i A_i \Delta T_{lm} = U_o A_o \Delta T_{lm}$$



# KİRLİLİK FAKTÖRÜ

Isı değiştiricilerin performansı genellikle yüzeylerde birikim oluşmasına bağlı olarak zamanla azalmaktadır. Biriken bu katman da ısı transferine karşı ilave bir direnç oluşturmakta ve böylece ısı değiştiricide aktarılan ısı aktarım hızı giderek düşmektedir. Bu birikimlerin ısı transferi üzerinde net etkisi ısıl direncin bir ölçüsü olarak  $R_f$  (kirlilik faktörü) ile temsil edilmektedir. Bu faktörü de bir direnç olarak diğer dirençlere ilave ederek ısı aktarımını hesaplamamız gerekir!!!

Akışkan	$R_f$ (m <sup>2</sup> K/W)
Distile su, deniz suyu, nehir suyu, kazan besleme suyu	
<50°C	0.0001
>50°C	0.0002
Fuel oil	0.0009
Makine yağı	0.0002
Sıvı yağ	0.0005
Buhar	0.0001
Doğalgaz buharı	0.0002
Soğutucu akışkan (sıvı)	0.0002
Soğutucu akışkan (buhar)	0.0004
Etilen glikol	0.00035
Alkol buharı	0.0001
Hava	0.0004

$$R_{top} = \frac{1}{hiA_i} + \frac{R_{f,i}}{A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi kL} + \frac{R_{f,o}}{A_o} + \frac{1}{hoA_o}$$

Burada verilen  $R_{f,i}$  ve  $R_{f,o}$  çift borulu ısı değiştiricinin iç ve dış yüzeyinde biriken kirlilik faktörlerini vermektedir.

Çeşitli akışkanlara ait kirlilik faktörleri soldaki tabloda verilmiştir.

## Örnek

**Şekil 1.** Anülüs kısmında laminar akışa sahip akışkana ait Nu değerleri

$D_i/D_o$	$Nu_i$	$Nu_o$
0.00	—	3.66
0.05	17.46	4.06
0.10	11.56	4.11
0.25	7.37	4.23
0.50	5.74	4.43
1.00	4.86	4.86

Sıcak yağ çift borulu karşıt akışlı bir ısı değiştiricide soğutulacaktır. 2 cm çapa sahip içteki bakır boru ihmal edilebilir kalınlığa sahiptir. Dış kısımdaki borunun iç çapı ise 3 cm'dir. Su iç borudan 0.5 kg/s debi ile akarken, yağ anülüs kısmından 0.8 kg/s debi ile akmaktadır. Su ve yağın ortalama sıcaklıklarını 45°C ve 80°C alarak bu ısı değiştiricinin toplu ısı transfer katsayısını hesaplayınız.

Suyun 45°C ort. sıcaklıktaki değerleri

$$\rho = 990.1 \text{ kg/m}^3$$

$$Pr = 3.91$$

$$k = 0.637 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

$$\nu = \mu/\rho = 0.602 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Yağın 80°C ort. sıcaklıktaki değerleri

$$\rho = 852 \text{ kg/m}^3$$

$$Pr = 499.3$$

$$k = 0.138 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

$$\nu = 3.794 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

## Örnek (Evde Çözün!)

Çift borulu ısı değiştirici paslanmaz elik malzemededen ( $k=15.1 \text{ W/mK}$ ) üretilmiş ve iç borunun iç apı ( $D_i$ ) 1.5 cm ve dış apı ( $D_o$ ) 1.9 cm dir. Dıştaki borunun iç çapı ise 3.2 cm'dir. İç borunun iç yüzeyindeki konvektif ısı transfer katsayısı  $h_i=800 \text{ W/m}^2\text{K}$  borunun dış yüzeyindeki ise  $h_o=1200 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir. İç borunun iç tarafında kirlilik faktörü  $R_{f,i}=0.0004 \text{ m}^2\text{K/W}$ , dış kısımda ise  $R_{f,o}=0.0001 \text{ m}^2\text{K/W}$  olarak verilmiştir.

Birim uzunluk için (1m) a) Isı değiştiricideki ısı dirençleri bulun.  
b)  $U_i$  ve  $U_o$ 'yu borunun iç ve dış yüzey alanlarına göre hesaplayınız.

**(a.  $R_{top}= 0.0532 \text{ }^\circ\text{C/W}$ , b.  $U_i=399 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $U_o= 315 \text{ W/m}^2\text{K}$ )**

# PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİLER



- Kullanımı pratiktir.
- Ekipman hacmi başına daha yüksek ısı transfer alanı vardır.
- Yüzey alan pürüzsüz değildir. Bu nedenle daha yüksek ısı transfer katsayısı değerlerine ulaşılır.
- Akış yönü ve kapasitesi çok kolay ayarlanabilir ve değiştirilebilir.
- Parçaların sökülmesi, temizlenmesi ve tekrar montajı oldukça basittir.

Ancak, dar bir debi aralığında çalışma zorunluluğu vardır. Çok düşük debilerde ise ölü bölge oluşumu gerçekleşebilir. Yüksek konsistens değerine sahip kıvamlı gıdalar için **uygun değildir!**

# PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİLER

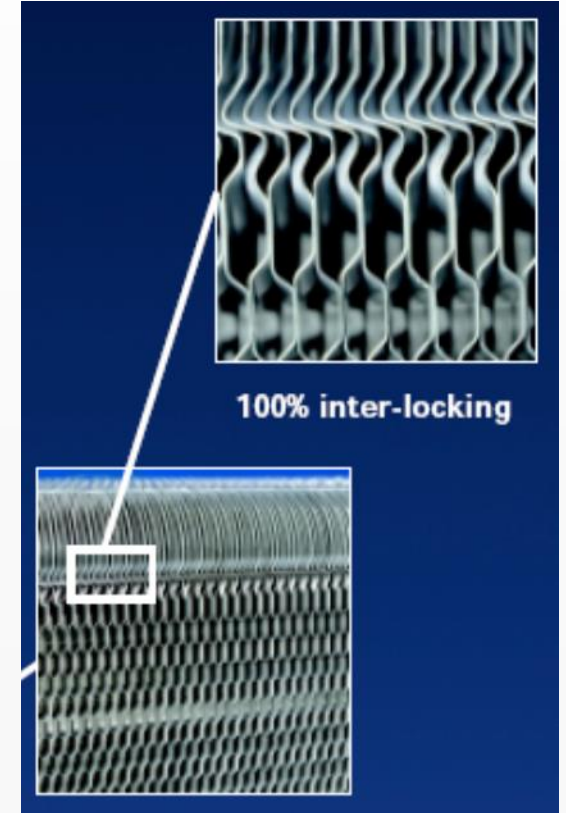
## Plaka Geometrisi



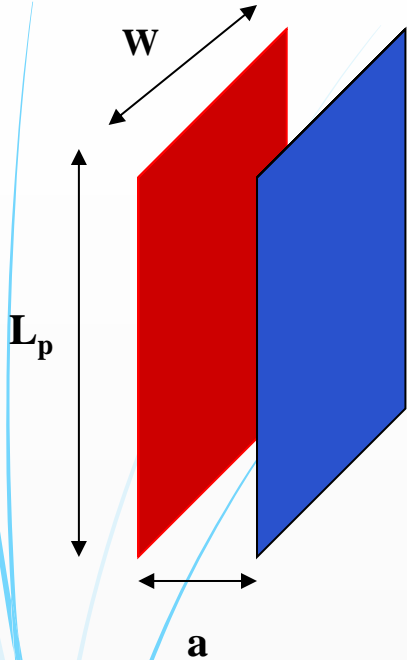
Yatay

Kombine

Dikey



# PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİLER



Isı transfer alanı;

$$A_{etkin} = c \times A_{izdüşüm} \quad c > 1$$

$$A_{izdüşüm} = (N - 2)(L_p \times W)$$

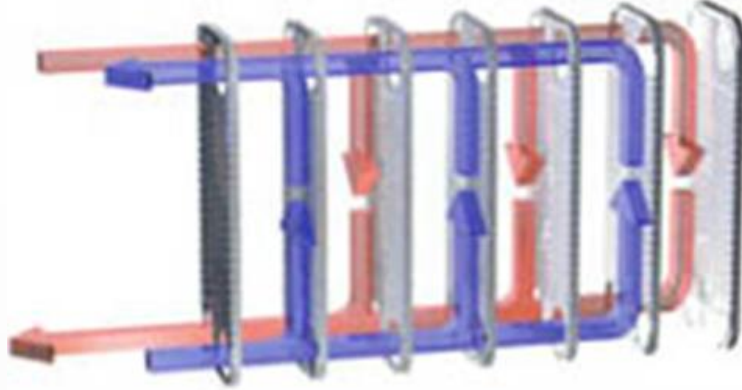
N: plaka sayısı, Lp: plaka uzunluğu, W: plaka genişliği, ilk ve son plakada ısı transferi olmadığı için plaka sayısından 2 çıkartılır.

$$A_{akış} = a \times W$$

$$D_{hid} = 2a$$

$$Re = \frac{D_{hid} V \rho}{\mu}$$

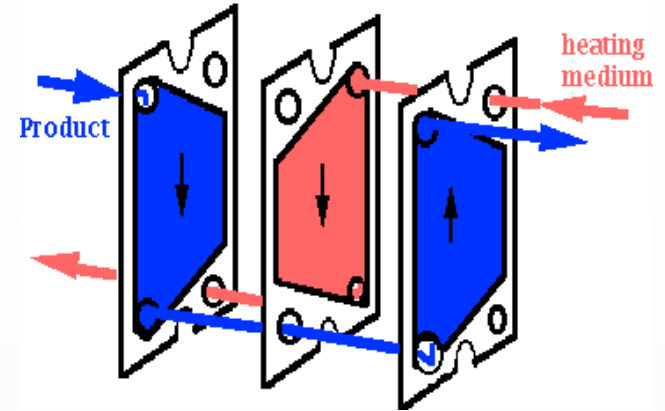
# PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİLER



Paralel akış düzeni

$$\dot{m}_{paralel} = aW \left( \frac{N_p - 1}{2} \right) V\rho$$

$$\Delta L = L_p$$



Seri akış düzeni

$$\dot{m}_{seri} = (aW)V\rho$$

$$\Delta L = L_p \left( \frac{N_p - 1}{2} \right)$$

$$Q = UA_{etkin} \Delta T_{lm}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + R_{fi} + \frac{\Delta x}{k} + R_{fo} + \frac{1}{h_o}$$



# PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİLER

Plakalı ısı değıştiricilerin etkin olarak çalışabildiği bazı koşullar mevcuttur. Bunlar;

- En fazla 20 atm basınçta çalışabilir.
- En fazla 250°C'de çalışabilir.
- En fazla 500 m<sup>2</sup> yüzey alana sahip olabilir.
- En fazla 30 Pa.s viskoziteye sahip akışkanlara uygundur.

Bunların dışında plakalı ısı değıştirici için basınç düşüşü aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$-\Delta P = 4f \frac{\Delta L}{D_{hid}} \rho \frac{V^2}{2} \left( \frac{\mu}{\mu_d} \right)^{-0.14}$$

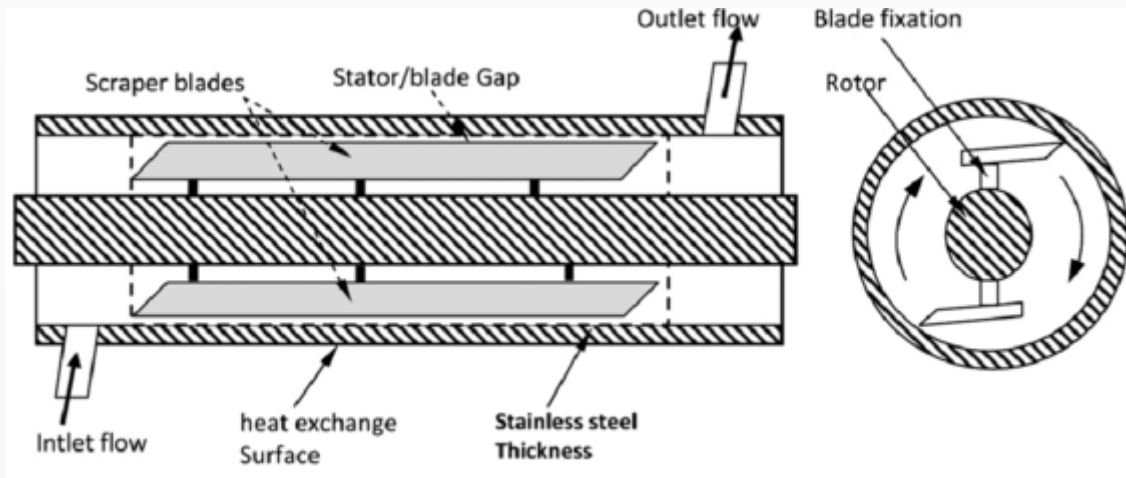
$f = 2.5Re^{-0.3}$  türbölanslı akışta düzgün yüzeyler için

(f: sürtünme faktörü)

Plakalı ısı değıştiricinin çalışabilmesi için basınç düşüşünün <20 atm olduğu kontrol edilmelidir!

# KAZIYICILI YÜZEY ISI DEĞİŞTİRİCİ

- Bu ısı değiştirici merkezde dönen bir mil bulunan silindirik bir boru şeklinededir. Kazıyıcı bıçaklar merkezdeki dönen mile sabitlenmiş olup mil döndükçe bıçaklar silindirik tüpün duvarlarına doğru itilir. Gıda maddesi ısıtılmış duvar ile mil arasındaki anülüs kısmına pompalanarak çalıştırılır. Genellikle dondurma yapımında kullanılan kazıyıcılı yüzey dondurucu bu tip ısı değiştiriciler şeklinde geliştirilmiştir. Bu tip ısı değiştiriciler **yüksek viskoziteye** sahip akışkanlara uygundur!



# KAZIYICILI YÜZEY ISI DEĞİŞTİRİCİ

Bu tip ısı değiştiricide ürün tarafının ısı transfer katsayısı;

$$Nu = \frac{h_i D_i}{k} = \alpha (Pr)^\beta \left( \frac{D_i - D_s V \rho}{\mu} \right) \left( \frac{D_i N}{V} \right)^{0.62} \left( \frac{D_s}{D_i} \right)^{0.55} (n_B)^{0.53}$$

Kıvamlı sıvılar için  $\alpha=0.014$ ,  $\beta=0.96$ ,

Kıvamı az sıvılar için  $\alpha=0.039$ ,  $\beta=0.70$  alınmalıdır.

$D_i$ : ürünün geğtiği iç borunun çapı (m)

$D_s$ : rotor (mil) çapı (m)

$V$ : aksenal akış hızı (m/s)

$N$ : bıçakların dönme hızı (rps)

$n_B$ : bıçak sayısı

0.076-0.38 m/s

100-750 rpm

