



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK MİMARLIK FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MAKİNE LABARATUVARI DERSİ
ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ DENEYİ

Öğrenci No:

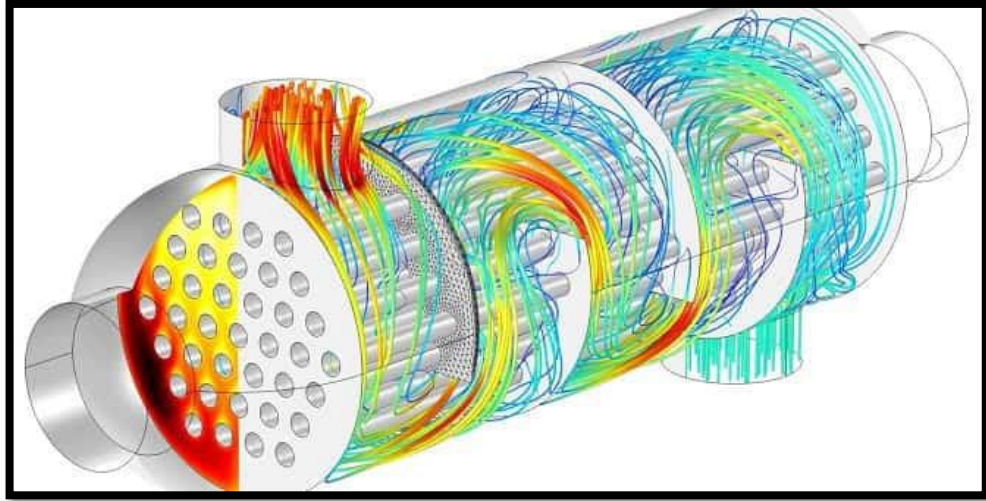
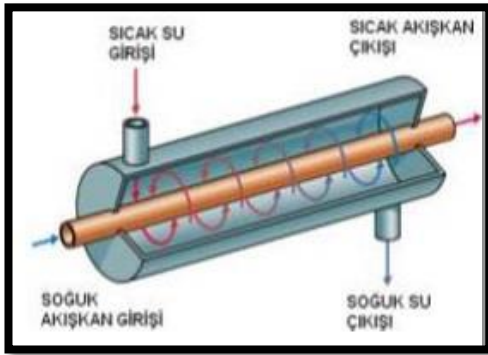
Adı Soyadı:

Deney Sorumlusu: Arş. Gör. Ferhat AKKUŞ

Batman - 2021

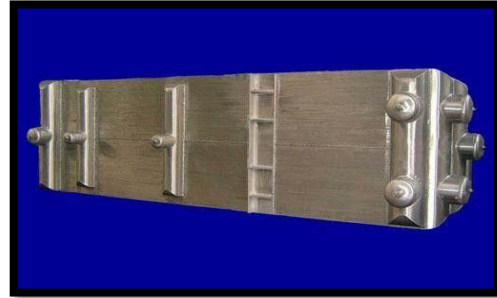
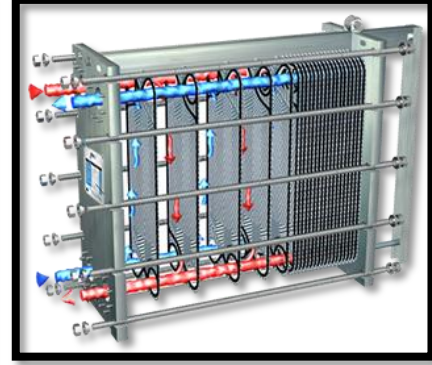
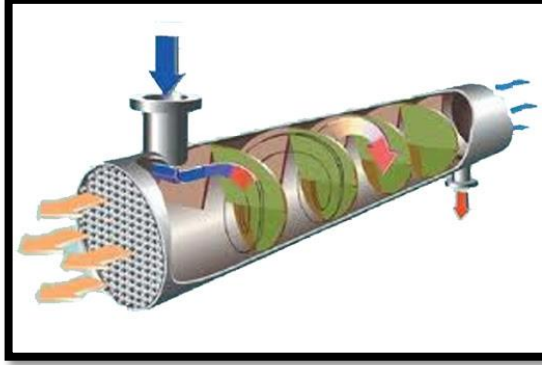
1. Giriş

- ❖ Mühendislik uygulamaları içerisinde sıklıkla karşılaşılan ve en önemli çalışma alanlarından biri olup farklı sıcaklıkta ve birbirinden katı bir cidar ile ayrılan iki akışkan arasındaki ısının geçişini inceleyen uygulama alanıdır. Bu tür cihazları ısı değiştiricileri (ısı eşanjörleri, eşanjörler) adı veriyoruz.
- ❖ Isı değiştiricileri, ısıtıcı, buharlaştırıcı, yoğuşturucu, soğutucu vb değişik adlar altında endüstride ısı tekniği alanında en çok kullanılan en önemli cihazlardır.
- ❖ Kimya ve petrokimya endüstrisinde, termik santrallerde, atık ısının geri kazanılması, soğutma, ısıtma ve iklimlendirme tesisleri, gıda endüstrisi, ısı depolama sistemleri, yağ soğutma üniteleri başlıca uygulama alanlarıdır.

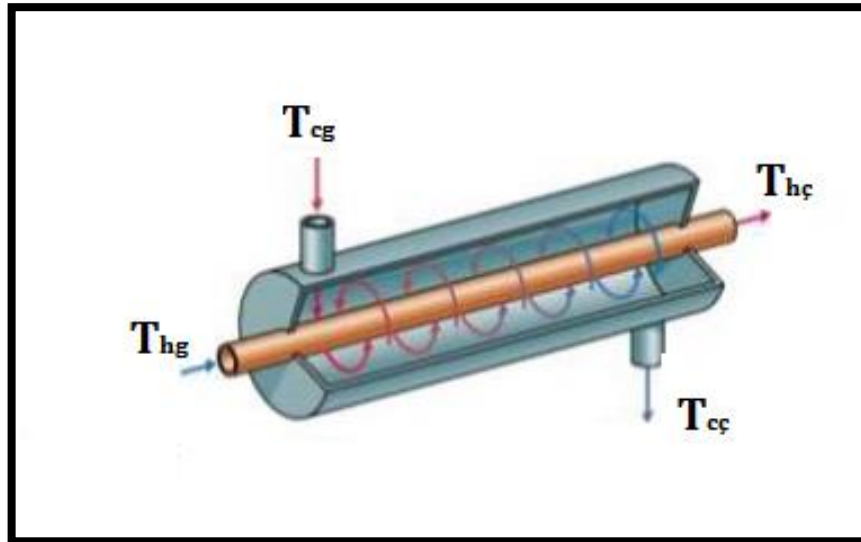


- ❖ Isı değiştiricileri, akışkanın temas biçimine göre direkt temaslı ve endirekt temaslı ısı değiştiricileri, akış şekline göre aynı yönlü, zıt yönlü ve çapraz akışlı ısı değiştiricileri ve konstrüksiyonuna göre iç içe borulu ve kompakt ısı değiştiricileri olmak üzere sınıflandırılırlar. Direkt temaslı ısı eşanjörleri (sıvı-gaz), (katı-sıvı) gibi iki farklı fiziksel özellikteki akışkan doğrudan temas ettirilebilir. Endirekt temaslı ısı eşanjörlerinde ise iki akışkanın bir araya gelmesi ara yüzey ile engellenmiştir. İç içe

borulu ısı değiştiricileri ki en temel ve en basit tipidir. Biz bundan hareket ederek hesaplama yapacağız. Kompakt Isı değiştiricileri, Isı eşanjörleri için bir çok ısı değiştiricisi dizaynı geliştirilmiş daha küçük hacimlerden yüksek ısı transferi için oluklu, ince plakalı, helisel borulu vb ısı değiştiricileri imal edilmiştir.



❖ İç içe borulu ısı değiştiricileri,



T_{cg}: Soğuk su giriş sıcaklığı

T_{cç}: Soğuk su çıkış sıcaklığı

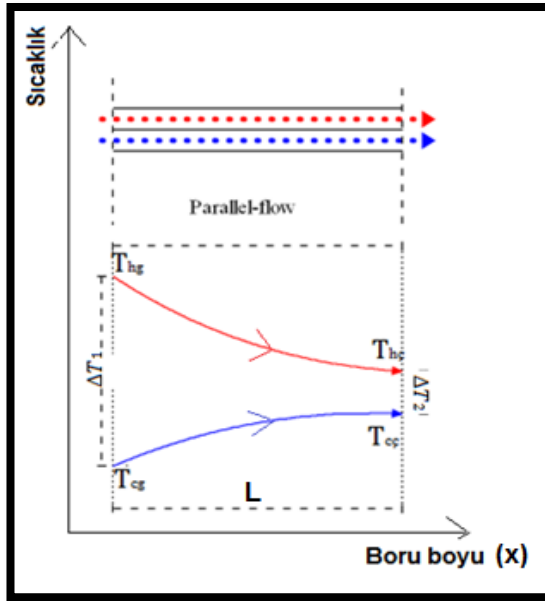
T_{hg}: Sıcak su giriş sıcaklığı

T_{hç}: Sıcak su çıkış sıcaklığı

K: Toplam ısı geçiş katsayısı

ΔT_{log} : Logaritmik sıcaklık farkı

A: Yüzey alanı (m²)

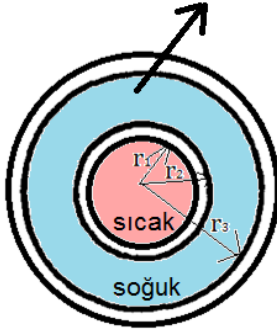


$$\Delta T_1 = T_{hg} - T_{cg}$$

$$\Delta T_2 = T_{hç} - T_{cç}$$

$$\Delta T_{log} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

Annular(halka) bölge



D_1, r_1 : İç boru iç çapı/yarıçapı (m)

D_2, r_2 : İç boru dış çapı/yarıçapı (m)

D_3, r_3 : Dış boru iç çapı/yarıçapı (m)

Soğuk suyun kütleli debisi

$$\dot{m}_c = \rho_c \left(\frac{kg}{m^3}\right) v_c \left(\frac{m}{s}\right) A_{kc} (m^2) \quad A_{kc} = \frac{\pi(D_3^2 - D_2^2)}{4}$$

$$D_{eş} = \frac{4A_{c,k}}{U} = \frac{4 \cdot \text{Kesit Alanı}}{\text{Islak Çevre}} = \frac{4 \left(\frac{\pi(D_3^2 - D_2^2)}{4}\right)}{\pi(D_2 + D_3)} = \frac{(D_3^2 - D_2^2)}{(D_2 + D_3)}$$

Sıcak suyun kütleli debisi

$$\dot{m}_h = \rho_h v_h A_{kh} \quad A_{h,k} = \left(\frac{\pi(D_1^2)}{4}\right)$$

Not: $\rho = \text{sabit} \Rightarrow \rho_c = \rho_h = \text{Sıkıştırılmaz Akışkan için tablodan alınır.}$

$$Q_c = \dot{m}_c c_{pc} (T_{cç} - T_{cg})$$

\dot{m}_c : soğuk suyun kütleli debisi (kg/s)

$$c_{pc} \rightarrow T_{mc} = \frac{T_{cç} + T_{cg}}{2}$$

Soğuk suyun ortalama sıcaklığına göre c_{pc} tablodan

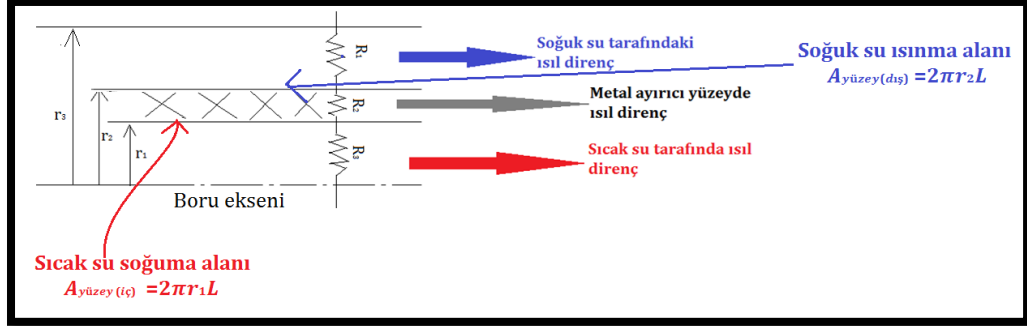
bulunacak.

$$Q_h = \dot{m}_h c_{ph} (T_{hg} - T_{hç})$$

\dot{m}_h : sıcak suyun kütleli debisi (kg/s)

$$c_{ph} \rightarrow T_{mh} = \frac{T_{hg} + T_{hç}}{2}$$

Sıcak suyun ortalama sıcaklığına göre c_{ph} tablodan bulunacak



$$D_1 = 2r_1$$

$$D_2 = 2r_2$$

$$D_3 = 2r_3$$

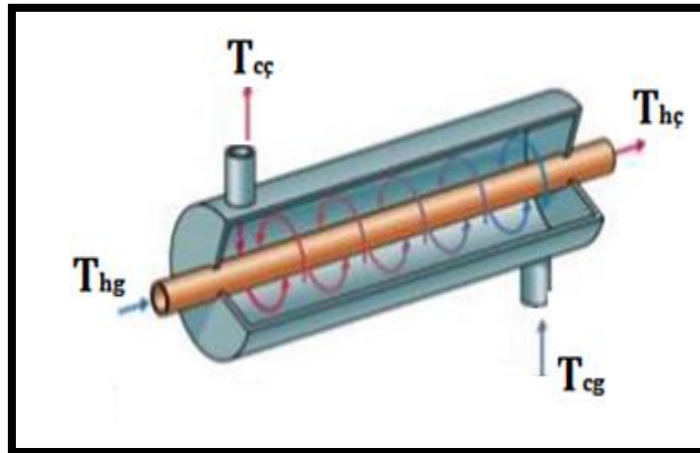
$$Q = KA\Delta T_{log}$$

K: Toplam ısı geçiş katsayısı (W/m²K)

$$\frac{1}{AK} = \frac{1}{h_h A_{yüzey(iç)}} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_{iç} L} + \frac{1}{h_c A_{yüzey(dış)}}$$

R_3 R_2 R_1

$$\frac{A_{yüzey(iç)}}{A_{yüzey(dış)}} = \frac{2\pi r_1 L}{2\pi r_2 L}$$



Tcg: Soğuk su giriş sıcaklığı

Tçç: Soğuk su çıkış sıcaklığı

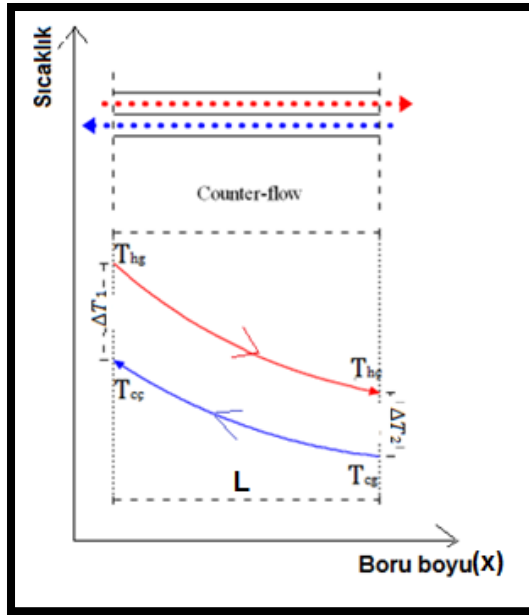
Thg: Sıcak su giriş sıcaklığı

Thç: Sıcak su çıkış sıcaklığı

K: Toplam ısı geçiş katsayısı

ΔT_{log} : Logaritmik sıcaklık farkı

A: Yüzey alanı (m²)



$$\Delta T_1 = T_{hg} - T_{cç}$$

$$\Delta T_2 = T_{hç} - T_{cg}$$

$$\Delta T_{log} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

$$Q = KA\Delta T_{log}$$

$$\frac{1}{AK} = \frac{1}{h_h A_{yüzey,h(iç)}} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_{iç} L} + \frac{1}{h_c A_{yüzey,c(dış)}}$$

$$Q_c = \dot{m}_c c_{pc} (T_{cç} - T_{cg})$$

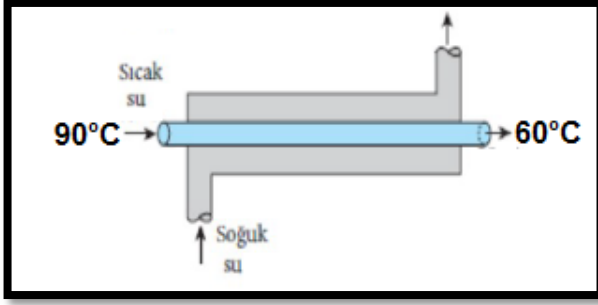
$$Q_h = \dot{m}_h c_{ph} (T_{hg} - T_{hç})$$

Not: Çevreye ısı kaybı yoksa: sıcak suyun verdiği ısıyı soğuk suyun aldığı kabul edilir. $Q_h = Q_c$ (Tam izolasyonlu).

Şayet ısı kaybı varsa: $Q_h - Q_{kayıp} = Q_c$ veya $Q_h = Q_c + Q_{kayıp}$

Örnek 1:

Kirli sıcak kazan suyu ile temiz su ısıtılması için iç içe eş eksenli borulu aynı yönlü paralel akışlı ısı değiştiricisi kullanılmaktadır. İç boruya su 90°C sıcaklıkta girmekte 60°C sıcaklıkta çıkmaktadır. Isı değiştiricisi iyi yalıtılmamıştır. Sıcak akışkanın verdiği ısının % 2' lik kısmı çevreye kaçmaktadır. Boru iç yüzey esaslı toplam ısı transfer katsayısı (K) 1200 W/m²K ve ısı değiştiricisinin yüzey alanı 3,5 m² ise bu ısı değiştiricisinin soğuk suya transfer edilen ısı miktarını ve logaritmik sıcaklık farkını bulunuz. (sıcak suyun debisi:1,2 kg/s)



Sıcak suyun giriş sıcaklığı, $T_{h,giriş} = 90 \text{ °C}$

Sıcak suyun çıkış sıcaklığı, $T_{h,çıkış} = 60 \text{ °C}$

Sıcak su debisi, $\dot{m}_h = 1,2 \text{ kg/s}$

Isı değiştirici toplam ısı transfer katsayısı (K) = 1200 W/m²K

Isı değiştiricisinin iç boru ısıtma yüzey alanı, $A_{iç} = 3,5 \text{ m}^2$

$$T_{mh} = \frac{90+60}{2} = 75 \text{ Tablodan } c_{ph} \rightarrow 4,195 \text{ (kJ/kg}^\circ\text{K)}$$

$$Q_h = \dot{m}_h c_{ph} (T_{hg} - T_{hç}) = 1,2(\text{kg/s}) \cdot 4,195(\text{kJ/kg}^\circ\text{K}) \cdot (90-60)(\text{K})$$

$$Q_h = 151 \text{ kW}$$

Sıcak su tarafından verilen ısının %2' si kayıp, %98' i ise soğuk suya geçmektedir

$$Q_c = Q_h \cdot 0,98 = 151 \cdot 0,98 = 148 \text{ kW}$$

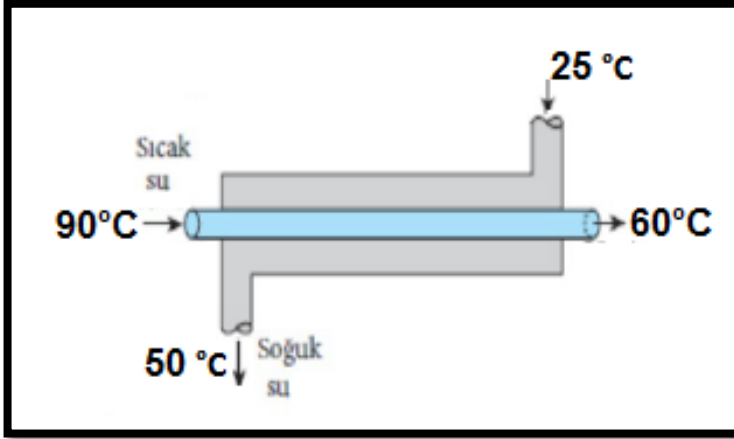
$$Q_c = KA\Delta T_{log} \Rightarrow \Delta T_{log} = \frac{Q_c}{KA} = \frac{148000 \text{ (W)}}{1200(\text{W/m}^2\text{K}) \cdot 3,5(\text{m}^2)} = 35,24 \text{ °C}$$

Örnek 2:

İç içe eş eksenli çift borulu zıt akışlı ısı eşanjörüne dış borudan soğuk su 25°C sıcaklıkta girmekte 50°C' de çıkmaktadır. Soğuk suyun kütleli debisi 1,2 kg/s' dir. İç borudan ise 90°C sıcaklığındaki sıcak su girmekte 60°C sıcaklıkta çıkmaktadır. Boru iç yüzey esaslı toplam ısı transfer katsayısı (K) 3000 W/m²K' dir. (Isı eşanjörünün çevreye karşı tam yalıtıldığı kabul edilmektedir.)

a.) Sıcak suyun kütleli debisini bulunuz.

b.) Isı eşanjörünün iç borusunun ısı transfer yüzey alanını bulunuz.



Sıcak suyun giriş sıcaklığı, $T_{h,giriş} = 90 \text{ °C}$

Sıcak suyun çıkış sıcaklığı, $T_{h,çıkış} = 60 \text{ °C}$

Soğuk su debisi, $\dot{m}_h = 1,2 \text{ kg/s}$

Soğuk suyun giriş sıcaklığı, $T_{c,giriş} = 25 \text{ °C}$

Soğuk suyun çıkış sıcaklığı, $T_{c,çıkış} = 50 \text{ °C}$

Isı değiştirici toplam ısı transfer katsayısı (K) = 3000 W/m²K

$$T_{mc} = \frac{50+25}{2} = 37,5 \text{ Tablodan } c_{ph} \rightarrow 4,178 \text{ (kJ/kg}^\circ\text{K)}$$

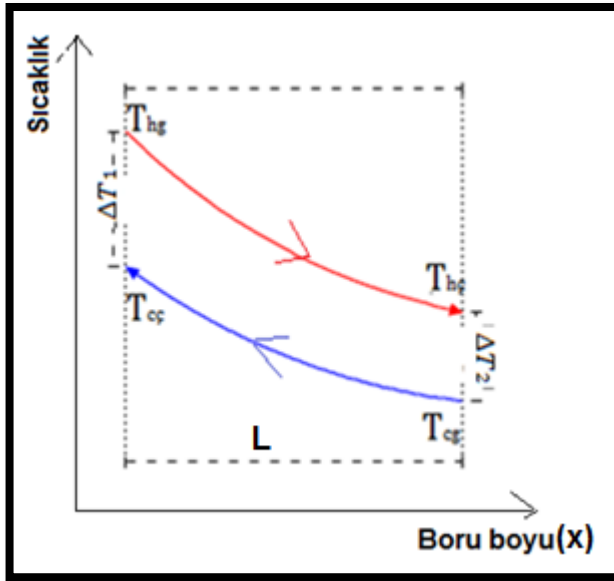
$$T_{mh} = \frac{90+60}{2} = 75 \text{ Tablodan } c_{ph} \rightarrow 4,195 \text{ (kJ/kg}^\circ\text{K)}$$

$$Q_c = \dot{m}_c c_{pc} (T_{cç} - T_{cg}) = 1,2(\text{kg/s}) \cdot 4,178(\text{kJ/kg}^\circ\text{K}) \cdot (50-25)(\text{K}) = 125,34 \text{ kW}$$

$$Q_c = Q_h$$

$$Q_h = \dot{m}_h c_{ph} (T_{hg} - T_{hç})$$

$$\dot{m}_h = 1 \text{ kg/s}$$



$$\Delta T_1 = T_{hg} - T_{cç} = 90 - 50 = 40$$

$$\Delta T_2 = T_{hç} - T_{cg} = 60 - 25 = 35$$

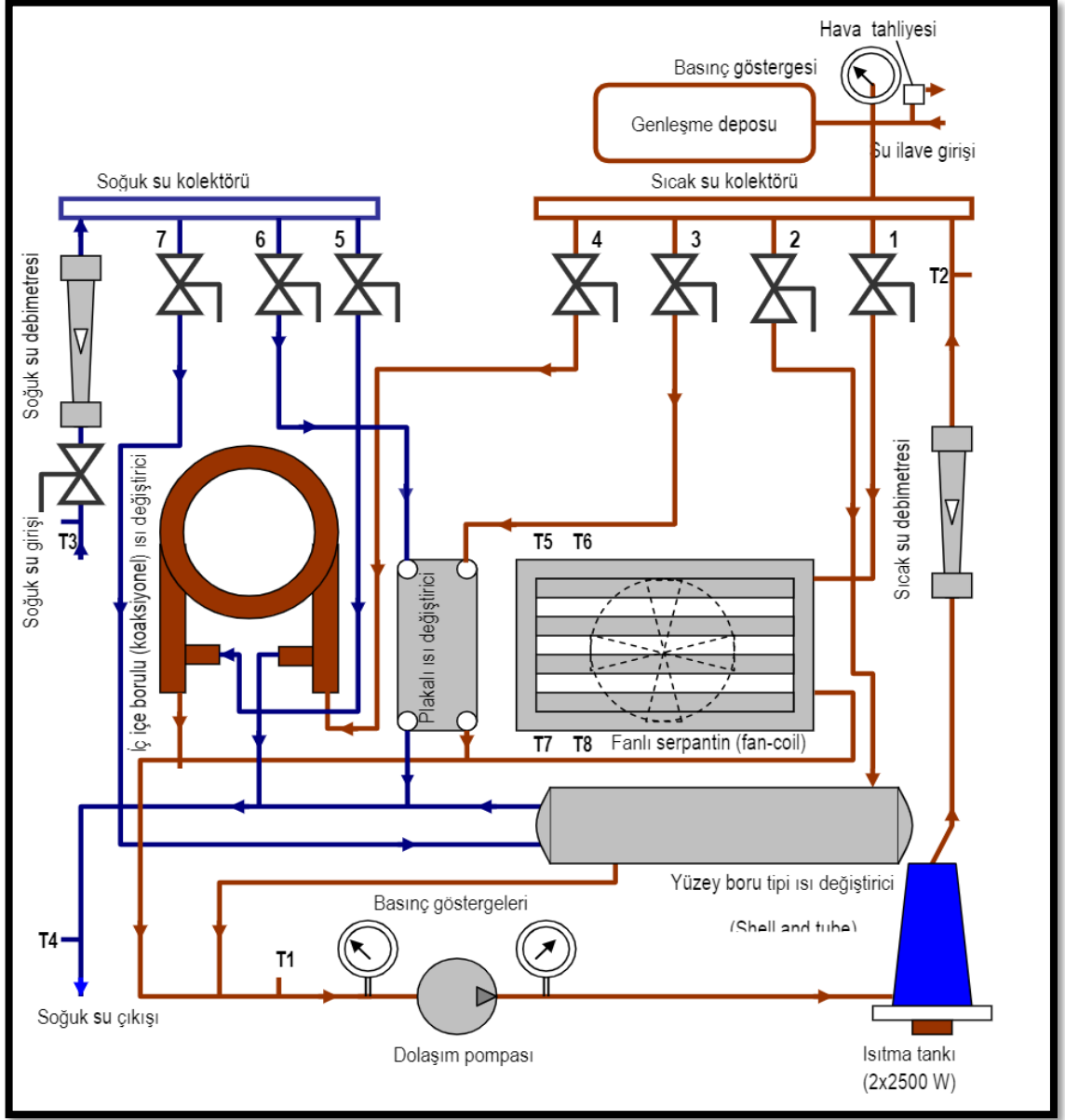
$$\Delta T_{log} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{40 - 35}{\ln\left(\frac{40}{35}\right)} = 37,44 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$Q_c = KA\Delta T_{log} \Rightarrow A = \frac{Q_c}{K\Delta T_{log}} = \frac{125340(W)}{3000(W/m^2\text{K}) 37,44^\circ\text{K}} = 1,115 \text{ m}^2$$

2. Deneyin Amaçları

- ❖ Isı değıştiricilerinde aynı yönlü ve zıt yönlü akışın gösterilmesi
- ❖ Isı değıştiricileri için Termodinamiğin Birinci Kanunu' nun (TD1K) yazılması
- ❖ Toplam ısı geçiş katsayısının (K) yazılması
- ❖ Sıcak ve soğuk bölgeler için ısı taşınım katsayısının (h) belirlenmesi
- ❖ Sıcak ve soğuk bölgeler için boyutsuz sayıların hesaplanması (Nu, Re, Pr, ...)
- ❖ Deneysel sonuçlara bağılı olarak ampirik bağıntıların çıkarılması

3. DeneY DÜzeneği



❖ Eş merkezli boruların arasında meydana gelen ısı transferini incelemek için şekilde verilen çoklu ısı değiştiricisi eğitim seti adlı deneY düzeneği kullanılmıştır. DeneY düzeneği arasında birden fazla ısı değiştiricisi bulunmaktadır. Bunlar:

- İ içe borulu ısı değiştiricisi
- Plakalı ısı değiştiricisi
- Yüzey ve boru tipi ısı değiştiricisi
- Fanlı serpantin(fan-coil) tipi ısı değiştiricisi

❖ ısı değiştiricisinde farklı sıcaklıklarda en az iki akışkan bulunmalıdır. Bu deneyde sıcak akışkan olarak bir ısıtma tankı içerisinde 2500 Watt' lık iki adet ısıtıcıyla

ısıtılan sıcak su, soğuk akışkan olarak şebeke suyu kullanılmaktadır. Sıcak suyun dolaşımını sağlayan küçük bir pompa, deney düzeneğinin en alt bölgesine yerleştirilmiştir. Sıcak akışkanın debisi üç kademeli dolaşım pompası yardımı ile değiştirilebilmektedir.

- ❖ Deneş düzeneğinin su giriş hortumu şebeke musluğuna bağlanarak sisteme soğuk su girişi sağlanmaktadır. Sıcak ve soğuk akışkanların debileri rotametreler yardımıyla ölçülmektedir. Isı değıştirici tipine bağılı olarak sıcak ve soğuk su kolektörlerindeki gerekli vanalar açılarak su giriş-çıkışı sağlanmaktadır.
- ❖ Deneş düzeneğinin çalıştırılması:
 - Sigortalar açılıp (ON) konumuna getirilir
 - Pompa çalıştırılır. Sıcak su kollektöründeki 4 nolu, soğuk su kollektöründeki 5 nolu vana açılır. Debiler ayarlanır. (800 L/h)
 - Isıtıcı anahtarı açılır. (2500 W)
 - Sistem kararlı hale gelince sıcaklık ve debi değerleri tabloya işlenir.
 - Tablo değerleri kullanılarak hesaplamalar yapılır.

4. Hesaplamalar

❖ Enerji Dengesi

Bir ısı değıştiricisinin performansı hakkında bilgi sahibi olabilmek için, ısı değıştiricisindeki toplam ısı geçişi ile akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları, toplam ısı geçiş katsayısı ve geçen ısının toplam yüzey alanı arasında bir bağıntı bulunması gerekir. Çevreye olan ısı kaybı, potansiyel ve kinetik enerjilerdeki değışimler ihmal edilmiştir. Ayrıca faz değışiminin olmadığı ve özgül ısıların sabit kaldığı kabul edilmiştir. Bu şartlara sahip bir ısı değıştiricisi için:

$$Q_c = \dot{m}_c c_{pc} (T_{cç} - T_{cg}) \quad Q_h = \dot{m}_h c_{ph} (T_{hg} - T_{hc})$$

Termodinamiğin birinci kanununa göre sıcak akışkanın verdiği ısı enerjisini soğuk akışkan almaktadır (Kayıplar ihmal). Bu durumda sıcak akışkanın entalpisindeki düşüş soğuk akışkanın entalpisindeki artışı göstermektedir. Enerji dengesi yazılacak olursa;

$$Q_c = Q_h$$

$$Q = \dot{m}_c (h_{cç} - h_{cg}) + \dot{m}_h (h_{hc} - h_{hg}) = \dot{m}_c c_{pc} (T_{cç} - T_{cg}) + \dot{m}_h c_{ph} (T_{hc} - T_{hg})$$

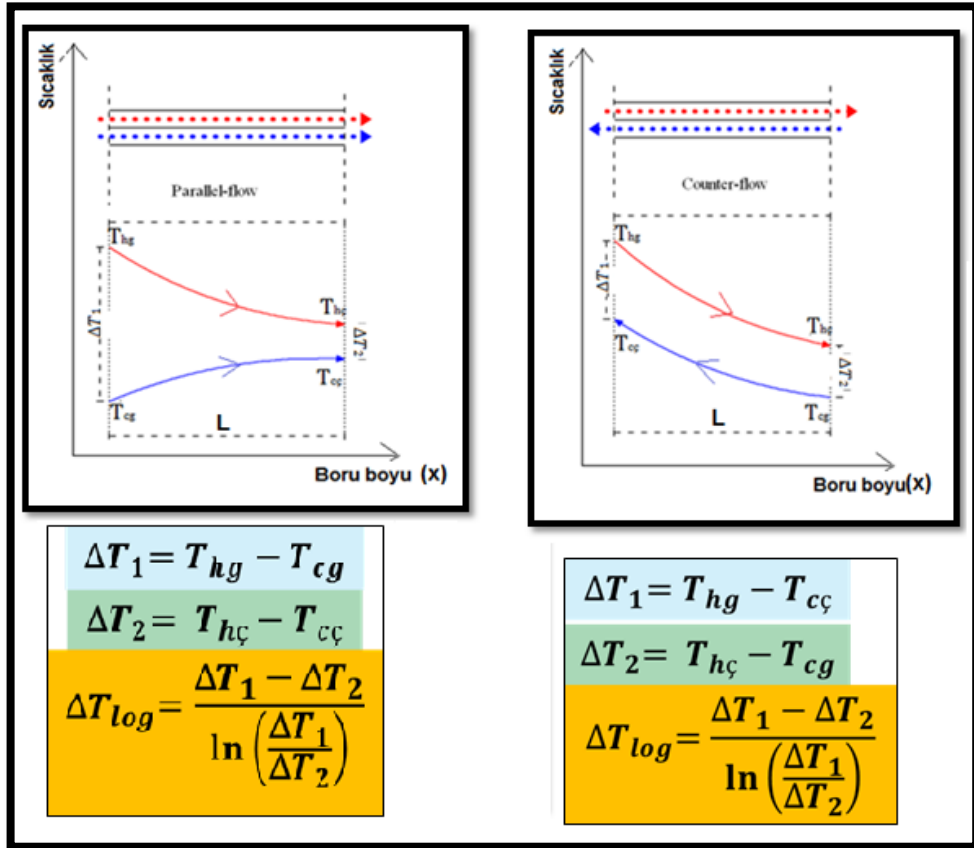
Teorik olarak denklemin değeri sifira eşit olur yani sıcak akışkanın verdiği ısıyı soğuk akışkan alır ancak deney sırasında meydana gelen kayıp ve tersinmezliklerden dolayı sonuç sifirdan farklı çıkmaktadır.

❖ **Ortalama Isı Taşınım Katsayısı ve Boyutsuz Sayılar**

İç ve dış taraftaki ısı taşınım katsayısı belirlenirken Newton soğuma kanunundan yararlanılmaktadır.

$$Q = KA\Delta T_{log}$$

Sıcaklık, ısı değıştircisi boyunca paralel akışın aynı ve zıt yönlü olması durumları için akış doğrultusunda değışmektedir. Dolayısıyla uygun bir sıcaklık farkı elde etmek için logaritmik sıcaklık farkı kullanılır.



Akışkanın ortalama ısı taşınım katsayısı ve boyutsuz sayılar;

$$\bar{h} = \frac{\dot{m}_c c_{pc} (T_{cg} - T_{cc})}{A \cdot \Delta T_{log}}$$

$$Nu = \frac{\bar{h}d}{k}$$

k: Akışkanın ısı iletim katsayısı (W/mK)

$$Re = \frac{\rho v d_1}{\mu} = \frac{4\dot{m}_c}{\pi d_1 \mu}$$

Boru içinde akan suyun Reynolds Sayısı

$$Pr = \frac{\mu c_p}{k}$$

μ : Kinematik viskozite

