



## 3. ISI DEĞİŞTİRİCİ



## 1. Amaç

Farklı soğuk su akış hızlarının ve farklı sıcaklıklardaki sıcak su akımının, paralel ve ters akış durumunda ısı değiştirici performansını nasıl etkilediğini göstermek.

---

## Öğrenme çıktıları

- Isı değiştiriciler hakkında genel kavramları bilir,
  - Isı değiştiricilerde ısı aktarım katsayısının nelere bağlı olduğunu ve nasıl hesaplandığını bilir,
  - Bir deney sistemini emniyetli bir şekilde kullanır,
  - Deneysel verileri amaç doğrultusunda analiz eder ve yorumlar,
  - Deneysel sonuçları bir rapor halinde sunar.
- 

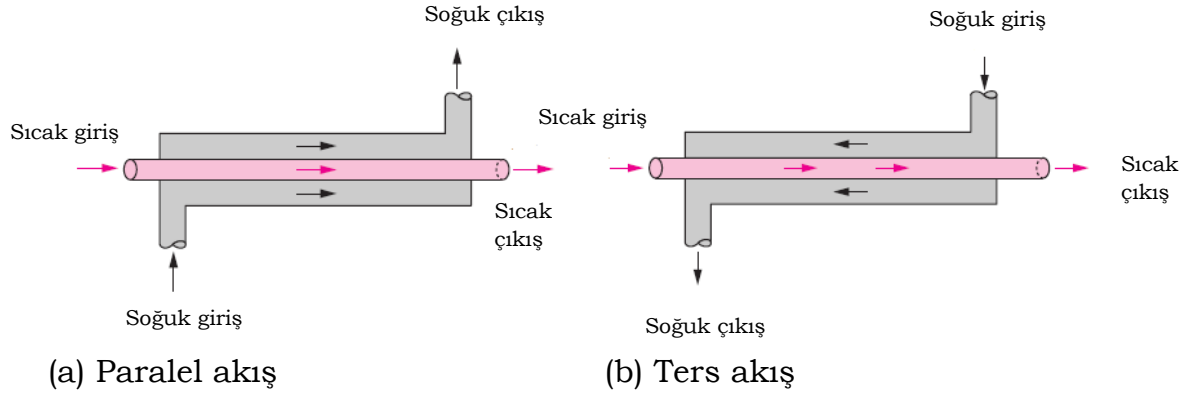
## 2. Genel Bilgiler

Isı değiştiriciler, birbirine karışmaları engellenen sıcaklıkları farklı iki akışkan arasında ısı değişimini sağlayan aygıtlardır. Isı değiştiriciler, evlerdeki ısıtma ve havalandırma sistemlerinden büyük fabrikalardaki kimyasal işlem ve güç üretimine kadar çok çeşitli uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

### Isı Değiştirici Tipleri

Farklı ısı transferi uygulamaları, farklı tiplerde donanım ve farklı düzenlerde ısı transferi aygıtları gerektirir. Belirli sınırlamaları olan ısı transferi gereğini karşılayacak ısı transferi donanımını bulmak için yapılan girişimler, ortaya sayısız yeni ısı değiştirici tasarım tipi çıkarmıştır.

En basit ısı değiştiricisi tipi, Şekil 1’de görüldüğü gibi, çapları farklı eş eksenli iki borudan oluşmuştur ve **çift borulu** ısı değiştiricisi olarak adlandırılır. Çift borulu ısı değiştiricilerde bir akışkan küçük borudan akarken, diğer akışkan iki boru arasındaki halka aralıktan akar. Çift borulu ısı değiştiricide iki tip akış düzeni olabilir: **paralel akışta** sıcak ve soğuk akışkanın ikisi de ısı değiştiriciye aynı taraftan girer ve aynı yönde hareket eder. Öte yandan **ters akışta**, sıcak ve soğuk akışkanlar ısı değiştiriciye ters taraftan girer ve zıt yönde hareket ederler.

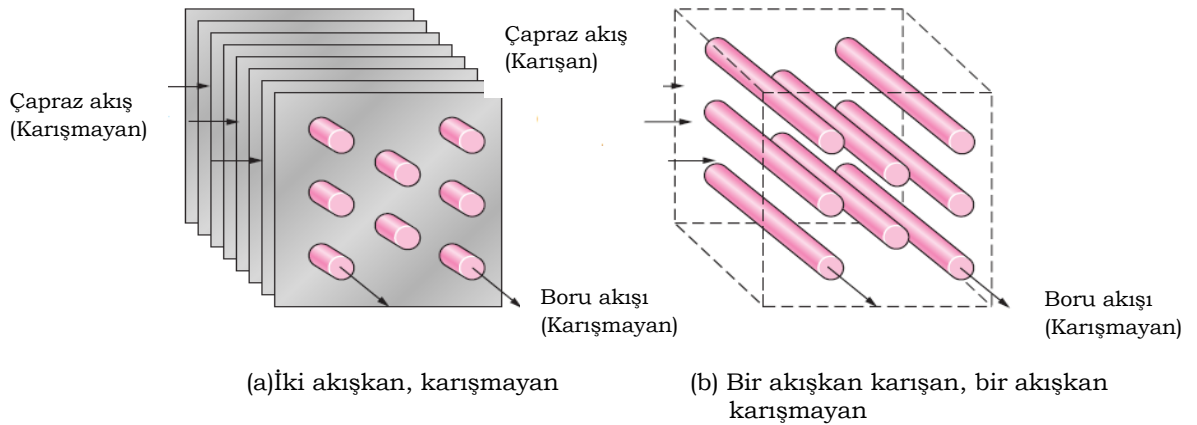


**Şekil 1.** Çift borulu bir ısı değiştiricide farklı akış rejimleri ve ilgili sıcaklık profilleri

Birim hacim başına yüksek bir ısı transfer yüzey alanı elde etmek için özel olarak tasarlanan diğer bir ısı değiştirici ise **kompakt ısı** değiştiricisidir. Kompakt ısı değiştiriciler, küçük bir hacimde iki akışkan arasında yüksek ısı transferi hızları elde edilmesini sağlar ve genellikle, ağırlık ve hacim açısından önemli kısıtlamalar içeren ısı değiştirici uygulamalarında kullanılırlar.

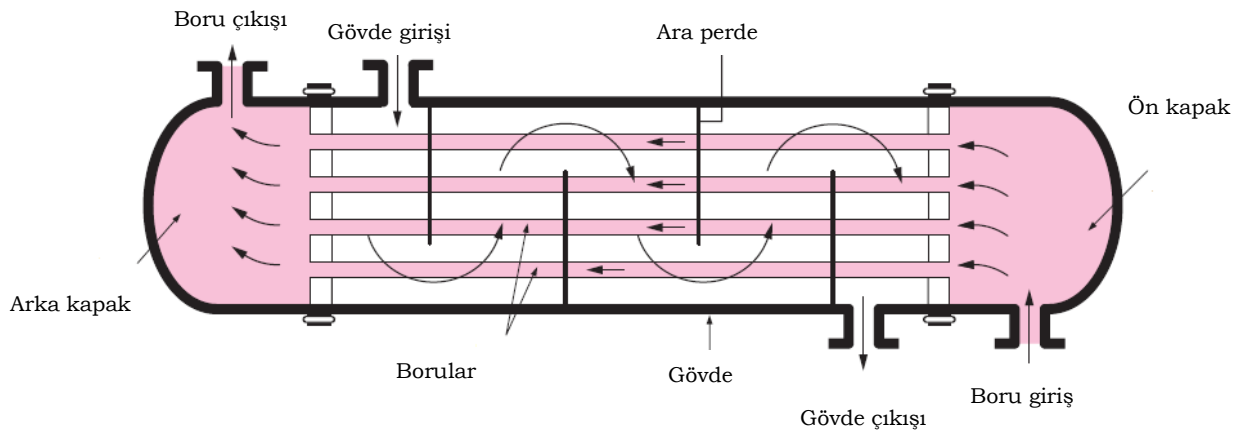
Kompakt ısı değiştiricilerde büyük yüzey alanı, iki akışkanı ayıran duvarlara sık dizilmiş ince plaka veya oluklu kanatlar eklenerek elde edilir. Kompakt ısı değiştiriciler genellikle, genişletilmiş yüzey alanındaki gaz akışına bağlı düşük ısı transfer katsayısını önlemek için gaz-gaz ve gaz-sıvı ısı değiştiricilerinde kullanılır.

Kompakt ısı değiştiricilerde iki akışkan genellikle birbirine dik olarak hareket eder ve böyle bir akış şekli çapraz akış olarak adlandırılır. Ayrıca Şekil 2'de görüldüğü gibi çapraz akış, akışın düzenine bağlı olarak karışan ve karışmayan akış olarak da sınıflandırılabilir.



**Şekil 2.** Çapraz akışlı ısı değiştiricilerde farklı akış şekilleri

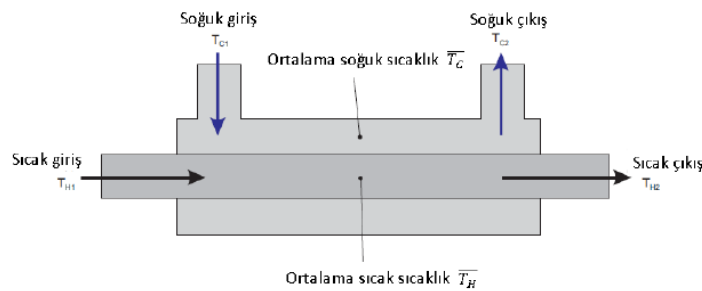
Endüstriyel uygulamalarda belki de en sık rastlanan ısı değiştiricisi tipi, Şekil 3'te verilen **gövde-borulu** ısı değiştiricisidir. Gövde-borulu ısı değiştiriciler, gövde eksenine paralel olarak yerleştirilmiş çok sayıda (bazen yüzlerce) boru içerirler. Bir akışkan boruların içinden, diğeri boruların dışında gövde boyunca akarken ısı transferi meydana gelir. Isı transferini iyileştirmek ve borular arasında üniform aralığı korumak amacıyla, çoğunlukla gövde tarafındaki akışkanı gövdeye çapraz akmaya zorlayacak şekilde gövde içine ara perdeler yerleştirilir.



**Şekil 3.** Gövde borulu ısı değiştiricisi şematik gösterimi (bir gövde geçişli ve bir boru geçişli)

### Isı Değiştiricilerinde Ortalama Sıcaklık

Birçok ısı transfer denklemi, özgül ısı kapasitesi ve su yoğunluğu hesaplamaları için ısı değiştiricisinde sıcak ve soğuk akımların ortalama sıcaklığının bulunması gerekir. Bu sistemdeki ortalama sıcaklık giren ve çıkan akımların orta noktasının hesaplanmış değeridir (Şekil 4).



**Şekil 4.** Isı değiştiricisinde ortalama sıcaklıklar

### **Soğuk akımın ortalama sıcaklığı**

$$\bar{T}_{C1} = \frac{T_{C1} + T_{C2}}{2}$$

### **Sıcak akımın ortalama sıcaklığı**

$$\bar{T}_{H1} = \frac{T_{H1} + T_{H2}}{2}$$

### **Isı Kapasitesi (C)**

Kütlesi verilen bir malzemenin sıcaklığını 1 derece (Kelvin veya Santigrat) artırmak için gerekli ısının bir ölçüsüdür. Malzemenin kütlesi ile özgül ısı kapasitesinin (c) çarpımına eşittir.

$$C = mxc$$

### **Sabit Basıncıta Özgül Isı Kapasitesi (cp)**

Özgül ısı kapasitesi, 1 kg malzemenin sıcaklığını 1 derece (Santigrat) artırmak için gerekli ısı enerjisinin miktarıdır. Isı enerjisindeki değişimin sıcaklıktaki değişime oranıdır.

$$c = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

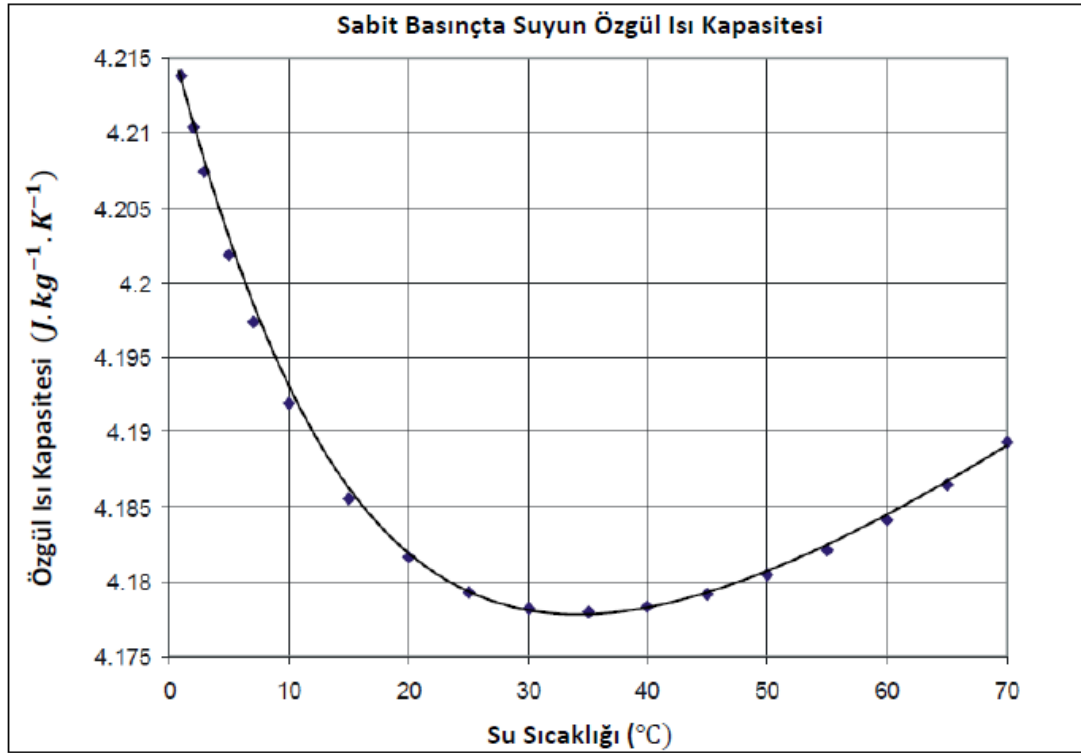
Basıncı ve sıcaklık özgül ısı kapasitesinin değerini etkiler. Bilinen bir sıcaklık aralığında az önce verilen denklemin sabit basınç için de geçerli olduğu kabul edilir.

$$c_p = \frac{Q}{\Delta T}$$

Şekil 5'teki grafik, ortalama sıcaklıkta özgül ısı kapasitesinin bulunması için kullanılabilir. Diğer bir yol olarak aşağıda verilen denklem yardımıyla kesin bir değer bulunabilir. T sıcaklık değeri °C birimindedir. Sıcaklık değeri akış devresinin ortalama sıcaklık değeridir.

$$\frac{c_p(T^{\circ}C'de)}{c_p(15^{\circ}C'de)} = 0,996185 + 0,0002874 \left( \frac{T + 100}{100} \right)^{5,26} + 0,011160 \times 10^{-0,036T}$$

Suyun 15 °C'deki özgül ısı kapasitesi 4185,5 J. kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>'dir.

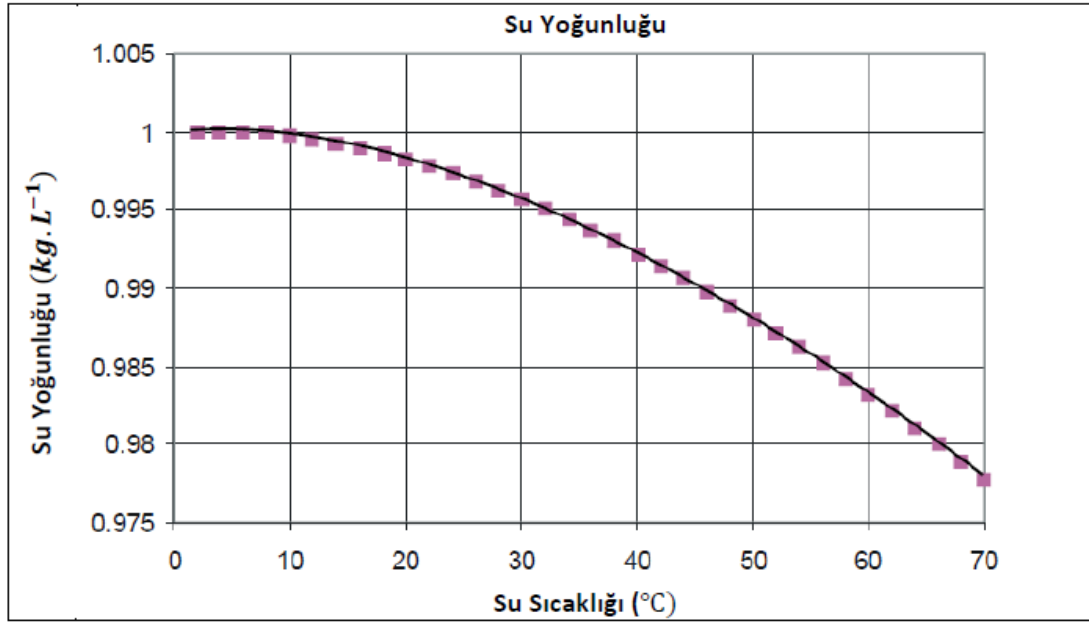


Şekil 5. Sabit basınçta suyun özgül kapasitesi

### Yoğunluk

Suyun sıcaklığı değiştiğinde yoğunluğu da azda olsa değişir. Maksimum yoğunluğu 4°C'dedir ve bu, sıcaklık değeri yükseldikçe veya düştükçe azalır. Bu durum tüm hesaplamaları etkiler. Şekil 6'daki grafik, sabit basınç ve birim kütle için suyun yoğunluğunun sıcaklığa göre değişimini vermektedir. Diğer bir yol olarak aşağıda verilen denklem yardımıyla kesin bir değer bulunabilir. T sıcaklık değeri °C birimindedir. Sıcaklık değeri akış devresinin ortalama sıcaklık değeridir.

$$\rho = \frac{(999.839 + 16.952T - 7.990 \times 10^{-3}T^2 - 46.241 \times 10^{-6}T^3 + 105.846 \times 10^{-9}T^4 - 281.030 \times 10^{-12}T^5)}{(1 + 16.887 \times 10^{-3}T)}$$



Şekil 6. Suyun yoğunluğu

### Isı Transferi, Enerji Dengesi ve Verimler

Isı değiştiricisinde, ısı sıcak su devresinden soğuk su devresine transfer olur. Isı transfer hızı, akışkan kütlenin akış hızının, akışkanın sıcaklık değişiminin ve özgül ısı kapasitesinin bir fonksiyonudur (ortalama sıcaklıkta).

$$\dot{Q} = mxc_p \times \Delta T$$

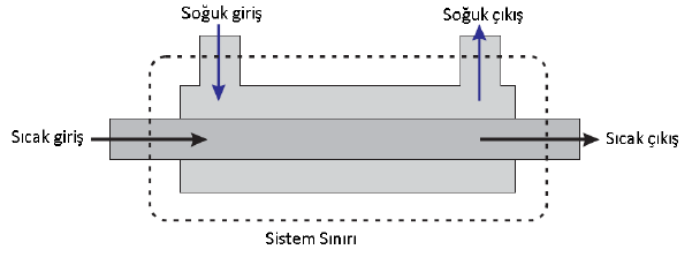
İdeal bir ısı değiştiricisinde, dış ortamdan ne ısı alınır nede dış ortama ısı verilir. Soğuk akışkan tüm ısıyı sıcak akışkandan absorplar. Dolayısıyla ısı transfer hızı:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_e = \dot{Q}_a = m_H \times c_{PH} \times \Delta T_{TH} = m_C \times c_{PC} \times \Delta T_{TC}$$

Hacimsel akış için tekrar düzenlenirse:

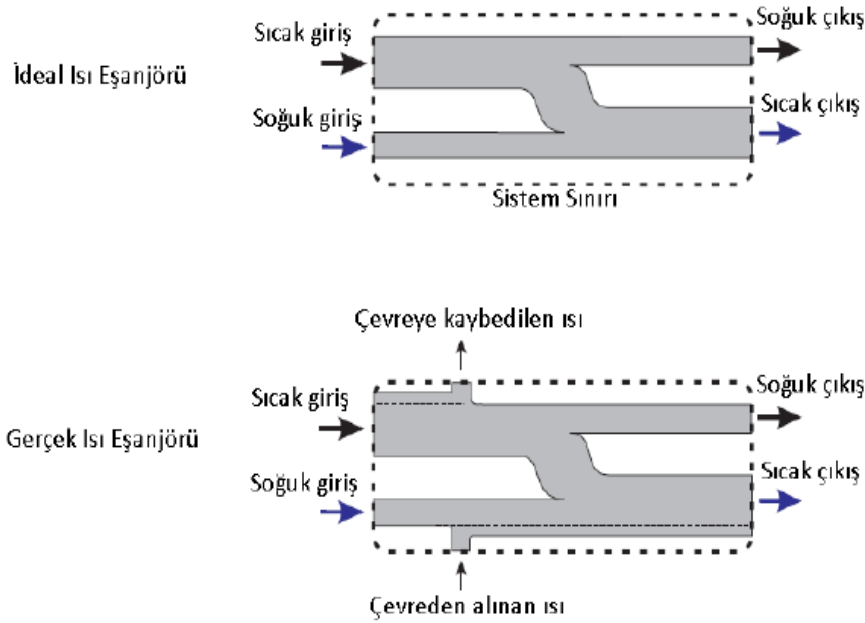
$$\dot{Q} = \dot{Q}_e = \dot{Q}_a = V_H \times \rho_H \times c_{PH} \times \Delta T_{TH} = V_C \times \rho_C \times c_{PC} \times \Delta T_{TC}$$

Isı değiştiricisinde, ısı transferini daha iyi anlamak için, Şekil 7'deki gibi onu giriş ve çıkışları olan sıcak ve soğuk su akışlı bir sistem olarak kabul edilmelidir.



**Şekil 7.** Sistem sınırı

İdeal ısı değiştiricisinde sistem sınırı boyunca ısı transferi yoktur. Fakat gerçekte sıcak ve soğuk akışkanlar genellikle çevreden farklı sıcaklıktadırlar ve bundan dolayı bir miktar ısı sistem sınırında transfer olur. Örneğin, sıcak bir odadan soğuk akışkana ısı transfer olur. Şekil 8'de girişleri, çıkışları ve kayıpları göreceli miktarları ile şema olarak göstermektedir.



**Şekil 8.** İdeal ve gerçek ısı değiştiricileri

Enerji denge katsayısı ( $C_{EB}$ ), absorplanan ve salınan enerji arasındaki ilişkiyi gösterir.

$$C_{EB} = \frac{\dot{Q}_a}{\dot{Q}_e}$$

Görüldüğü gibi sistemin dışına veya içine muhtemel ısı akışından dolayı, eğer ısı değiştiricisi çevresinden enerji absorplarsa enerji denge katsayısı 1'den büyük bir değer çıkar. Dolayısıyla bu sadece yol göstericidir. Çünkü gerçekte:

$$\dot{Q}_e = \dot{Q}_a \pm \text{çevreden kazanılan veya kaybolan ısı}$$



şeklinde dir. Ortalama sıcaklık verimi ve ısı transfer katsayısı, ısı değiştiricileri arasında kıyaslama yapmak için daha faydalı sonuçlar verir.

Isı değiştiricide **sıcak devrenin** sıcaklık verimi, sıcak devredeki sıcaklık değişiminin sıcak ve soğuk devredeki maksimum ve minimum sıcaklıklar arasındaki farka bölünmesi ile elde edilir.

$$\eta_H = \frac{T_{H1} - T_{H2}}{T_{H1} - T_{C1}} \times 100$$

Isı değiştiricide **soğuk devrenin** sıcaklık verimi, soğuk devredeki sıcaklık değişiminin sıcak ve soğuk devredeki maksimum ve minimum sıcaklıklar arasındaki farka bölünmesi ile elde edilir.

$$\eta_C = \frac{T_{C2} - T_{C1}}{T_{H1} - T_{C1}} \times 100$$

İki devrenin ortalama sıcaklık verimi her iki devrenin ortalama verimidir:

$$\bar{\eta} = \frac{\eta_H + \eta_C}{2} \times 100$$

### **Logaritmik Ortalama Sıcaklık Farkı**

Bu ısı transferini oluşturan ısı itici kuvvetinin ölçüsüdür. Değeri ısı değiştiricisinin her bir ucundaki sıcak ve soğuk devre arasındaki sıcaklık farkının logaritmik ortalamasıdır.

$$LMTD = \frac{(T_{H2} - T_{C2}) - (T_{H1} - T_{C1})}{\ln\left(\frac{T_{H2} - T_{C2}}{T_{H1} - T_{C1}}\right)}$$

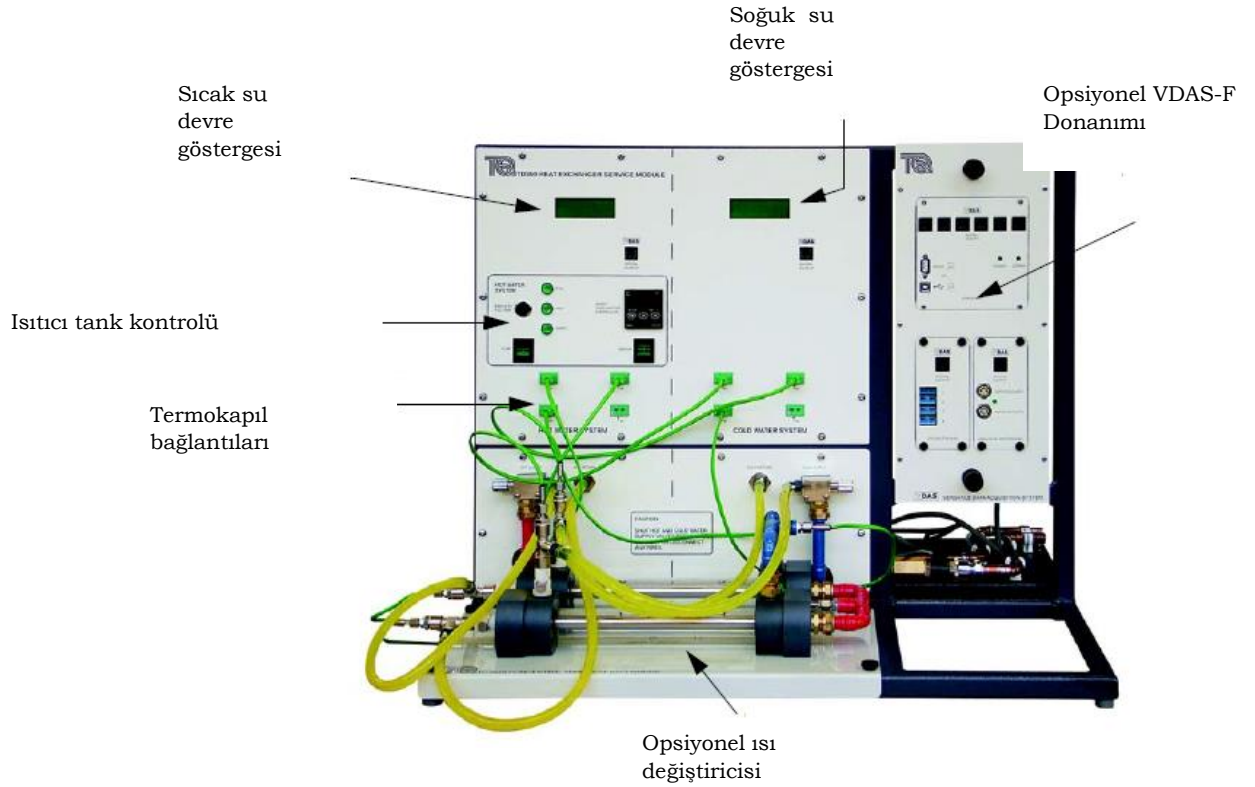
### **Isı Transfer Katsayısı**

Duvar ve sınır tabakalar için genel ısı transfer katsayısıdır. Isı değiştiricisinin ne kadar iyi çalıştığının bir ölçüsüdür. İyi bir ısı değiştiricisi yüksek bir katsayı verecektir, bu nedenle mühendisler için bu değer önemlidir.

$$U = \frac{\dot{Q}_e}{A \times LMTD}$$

### 3. Deneysel Sistemi

Deneysel düzeneğin ana parçası ısı değiştiricisidir. Düzenekte elektrik bağlantıları, soğuk su besleme ve boşaltma sistemi ve düzenek arkasında bulunan sıcak su sağlayan tanktan oluşmaktadır. Akış hızı ölçümü için sıcak ve soğuk suya ait sensörler mevcuttur. Soğuk su musluktan sağlanırken, sıcak su ise elektrikli ısıtıcı tanktan sağlanmaktadır. Şekil 9'da deneysel düzeneği Şekil 10'da ise deneyde kullanılacak olan gövde borulu ısı değiştiricisi verilmiştir.



Şekil 9. Deneysel Düzeneği



Şekil 10. Gövde borulu ısı değiştiricisi

## 4. Deneysel Çalışma

### 4.1. Değişen Akış Hızının Etkisi

#### Amaç

Farklı soğuk su akış hızlarının, paralel ve ters akış durumunda ısı değiştiricisi performansını nasıl etkilediğini göstermek.

#### 4.1.1. Deneyin Yapılışı

##### Paralel Akış

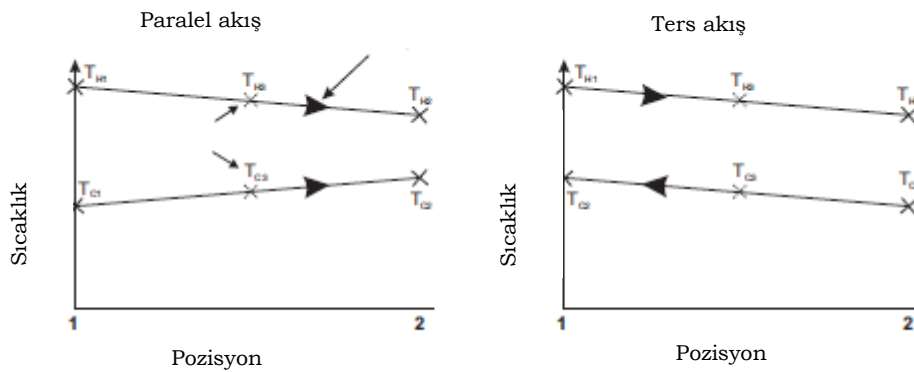
- Isı değiştirici paralel akış için sisteme bağla ve ısıtıcı tankın sıcaklığını  $60^{\circ}\text{C}$  'ye ayarla.
- Ortam sıcaklığını referans olması için termometre ile ölçün.
- Tablo 1'de test 1 için gösterilen sıcak ve soğuk su akış hızlarını ayarlamak için elle akış kontrol vanalarını kullanın.
- Isı değiştirici sıcaklığının dengeye gelmesi için en az 5 dakika bekleyin.
- Sıcak ve soğuk devre sıcaklıklarını kaydedin.
- Test 2,3 ve 4 için tabloda gösterilen akış hızlarında test 1 için yapılan işlemleri tekrarla.

##### Ters Akış

Isı değiştiricisini ters akış için sisteme bağla ve paralel akış için yapılan prosedürü tekrarla.

#### 4.1.2. Hesaplamalar

- Her bir akış durumu için aşağıdaki grafikleri çiziniz.



- Tablo 1'i doldurmak için gerekli hesaplamaları yapınız.
- Soğuk akış hızına (yatay eksen) karşılık enerji denge katsayısı (dikey eksen) ve ortalama sıcaklık verimini (dikey eksen) aynı grafikte çiziniz.
- Sonuçlara göre akış hızının ısı değiştirici performansını nasıl etkilediğini yorumlayınız.

## 4.2 Değişen Sıcaklığın Etkisi

### Amaç

Paralel ve ters akışlarda, farklı sıcaklıklardaki sıcak su akımının ısı değiştirici performansını nasıl etkilediğini göstermek.

#### 4.2.1. Deneyin Yapılışı

##### Paralel Akış

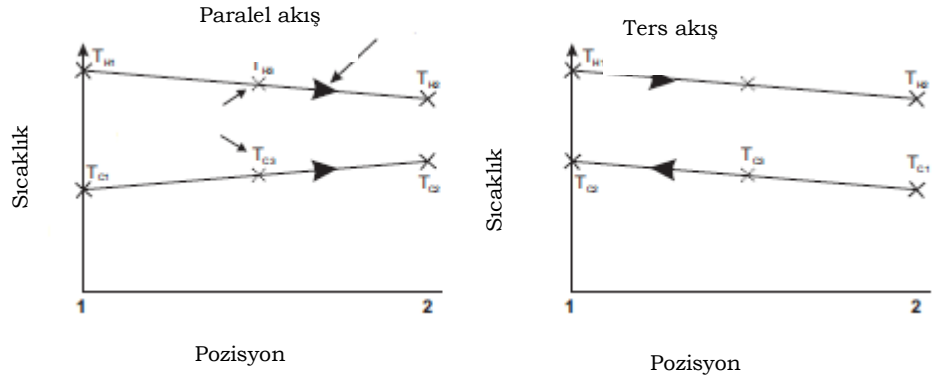
- Isı değiştiricisini paralel akış için sisteme bağlayıp ısıtıcı tankın sıcaklığını 30°C'ye ayarlayınız.
- Ortam sıcaklığını referans olması için termometre ile ölçünüz.
- Tablo 2'de gösterilen sıcak ve soğuk akış hızlarını ayarlamak için elle akış kontrol vanalarını kullanınız.
- Isı değiştirici sıcaklığının dengeye gelmesi için en az 5 dakika bekleyiniz.
- Sıcak ve soğuk devre sıcaklıklarını kaydediniz.
- Isıtıcı tank sıcaklığının 40, 50 ve 60°C'ye ayarlayıp, 30°C için yapılan işlemleri tekrarlayınız.

##### Ters Akış

- Isı değiştiricisini ters akış için sisteme bağlayınız ve paralel akış için yapılan prosedürü tekrarlayınız.

#### 4.2.2. Hesaplamalar

- Her bir akış durumu için aşağıdaki grafikleri çiziniz.
- Tabloyu doldurmak için gerekli hesaplamaları yapınız.
- Isıtıcı sıcaklığına (yatay eksen) karşılık enerji denge katsayısı (dikey eksen) grafiğini çiziniz.
- Sonuçlara göre ısıtıcı sıcaklığının (itici güç) ısı değiştirici performansını nasıl etkilediğini yorumlayınız.



### Kaynaklar

1. Incropera, F.P. ve DeWitt, D.P., Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Çevirenler: Derbentli, T., Genceli, O.F., Güngör, A., Hepbaşı, A., İlken, Z., Özbalt, ., Özgüç, F., Parmaksızoğlu, C. Ve Uralcan, Y., Literatür Yayıncılık, Beyoğlu, İstanbul, 2001.
2. TecQuipment, Bench-Top Heat Exchangers Experiments User Guide.
3. Isı eşanjörü Deney Föyü, Bursa Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü.
4. Çengel, Y. A., Isı ve Kütle Transferi, Çevirenler: Tanyıldız, V., Dağtekin, İ., İzmir Güven, İzmir, 2011.



**Tablo 1.** Sonuç Tablosu-I

<b>Isı Değiştiricisi:</b> <b>Paralel veya Ters akış:</b> <b>Ortam Sıcaklığı:</b> <b>Isıtıcı Tank Sıcaklığı:</b>											<b>Ortalama ısı transfer alanı: 0.02 m<sup>2</sup></b>												
Test	Sıcak akış (L/dk.)	Soğuk akış (L/dk.)	TH <sub>1</sub>	TH <sub>2</sub>	ΔTH	T <sub>H</sub>	TC <sub>1</sub>	TC <sub>2</sub>	ΔTC	T <sub>C</sub>	η <sub>H</sub>	η <sub>C</sub>	ρ <sub>H</sub>	ρ <sub>C</sub>	cp <sub>H</sub>	cp <sub>C</sub>	Q <sub>e</sub>	Q <sub>a</sub>	C <sub>EBB</sub>	η̄	LMTD	U	
1	3	3																					
2	3	2																					
3	3	1																					
4	3	0,5																					

**Tablo 2.** Sonuç Tablosu-II

<b>Isı Değiştiricisi:</b> <b>Paralel veya Ters akış:</b> <b>Sıcak Akış: 3 L/dk.</b> <b>Sıcak Akış: 2 L/dk.</b>											<b>Ortalama ısı transfer alanı: 0.02 m<sup>2</sup></b>												
Test	Isıtıcı Sıcaklığı	TH <sub>1</sub>	TH <sub>2</sub>	ΔTH	T <sub>H</sub>	TC <sub>1</sub>	TC <sub>2</sub>	ΔTC	T <sub>C</sub>	η <sub>H</sub>	η <sub>C</sub>	ρ <sub>H</sub>	ρ <sub>C</sub>	cp <sub>H</sub>	cp <sub>C</sub>	Q <sub>e</sub>	Q <sub>a</sub>	C <sub>EBB</sub>	η̄	LMTD	U		
1	30																						
2	40																						
3	50																						
4	60																						

