

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

OTO4003 OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ LABORATUVARI  
DENEY FÖYÜ

LAB. NO: .....

DENEY ADI: ISI DEĞİŞTİRİCİ DENEYİ

- Boru tipi ısı değiştirici
- Plakalı tip ısı değiştirici
- Gövde boru tipi ısı değiştirici
- Su ceketli-karıştırıcılı ısı değiştirici

2020

BURSA

## 1) AMAÇ

Paralel aynı yönlü ve paralel ters yönlü akış modlarında sıcaklık eğrilerinin elde edilmesi. Ortalama ısı transfer katsayısının hesaplanması. Farklı ısı değiştirici türlerinin çalışma prensibinin anlaşılması ve ısı transfer karakteristiklerinin karşılaştırılması.

## 2) GİRİŞ

Isı değiştiricileri iki veya daha fazla akışkan arasında ısı transferini gerçekleştirmek için tasarlanmışlardır. Genel olarak bir akışkandan diğer akışkana ısıyı transfer etmek için kullanılan ısı cihazlarıdır. Isı değiştiricilerinde ısı transferi, genel olarak, taşınım ve iletimle olur. Bazı yerlerde ışıma da etkili olmaktadır. Kanatçık uygulamaları da ısı değiştiricilerinde önemlidir. Deney sistemi, her birinin tekil olarak ana üniteye bağlanabildiği dört farklı ısı değiştiricisinden oluşmaktadır. Soğuk akışkanın temas ettiği katı ara yüzeyler saydam malzemeden yapılmış olup, sıcak ve soğuk akışkan tesisat borularının tasarım parametreleri farklılık göstermektedir.

## 3) TEORİ

### 3-1) Isı Transferi

#### 3-1-1) Isı değiştiricisi kullanılarak doğrudan transfer

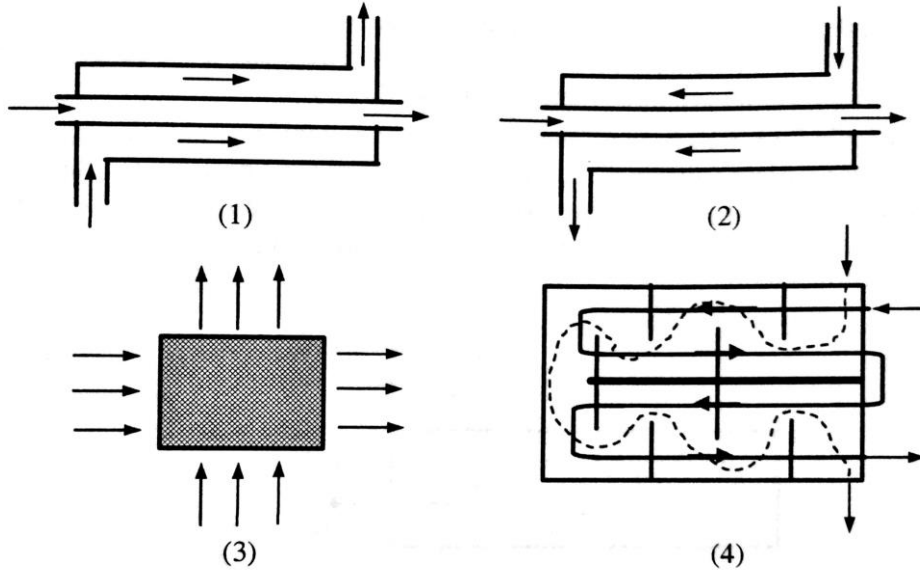
Isı transferinin bir örneği bir tank içerisinde depolanan suyun hızlı bir şekilde ısıtılması için su içerisine sıcak buhar verilmesidir. Sıcak buhar su içerisinde yoğunlaşır ve yoğunlaşma sonucu oluşan ısı tanka aktarılır.

#### 3-1-2) Isı değiştiricisi kullanılarak dolaylı transfer

Dolaylı ısı transferinde, ısı bir akışkandan diğerine bir ısı değiştirici içerisindeki bir katı ara yüzey (bölme) aracılığı ile transfer edilir.

Bölmenin iki tarafında yer alan akışkanlar karışmaz.

Bölmenin her iki tarafındaki akış yönleri açısından, paralel aynı yönlü, paralel zıt yönlü, dik akışlı (çapraz akış) ve çok yönlü akışlı olmak üzere birbirlerinden ayrılır.

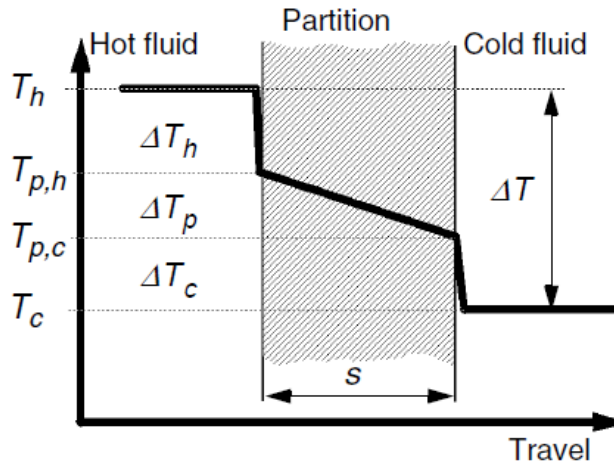


**Şekil 1.** Isı değiştiricilerinde akış Őekilleri  
 (1) Paralel aynı yönlü akışlı, (2) Paralel ters yönlü akış,  
 (3) Dik akışlı (apraz akış), (4) ok yönlü akışlı

Sıcak akışkan kendisinden daha soğuk bölme boyunca hareket ederken soğumaya başlar ve bölmeye ısı verir. Sonrasında, ısıtılan bölme ısıyı bölmenin diğer tarafında hareket eden soğuk ortama verir. Bu işlem soğuk akışkanın sıcaklığını arttırır.

Bölmedeki ısı transferi  farklı proses Őeklinde incelenebilir.

1. Sıcak akışkanın ısıyı bölmeye aktarması.
2. Bölmede kullanılan katı malzemenin ısıyı kızgın yüzeyden soğuk yüzeye iletmesi.
3. Sıcaklığı artan yüzey ile soğuk akışkan arasında taşınımla ısı transferi neticesinde soğuk akışkanın sıcaklığının artması.



**Şekil 2.** Bölmedeki sıcaklık eğrisi

**Not:** h = Sıcak, c = Soğuk, p = Bölme, in = Giriş, out = ıkış

### 3-1-2-1) Akışkan ve katı ara yüzey arasında gerçekleşen ısı transferi

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T \cdot t \quad (3.1)$$

Formül “t” zamanında transfer edilen ısı transfer miktarını (Q) ifade etmektedir. Isı transfer katsayısı “h” ve bölme alanı “A”nın yanı sıra, akışkan ve bölme arasındaki sıcaklık farkı “ΔT” de ısı transferini etkileyen faktörlerdir.

Birim zamanda meydana gelen ısı transfer miktarı ise (3.2) eşitliğinden hesaplanabilir.

$$\dot{Q} = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (3.2)$$

$$Q = h_h \cdot A \cdot \Delta T_h \quad (3.3)$$

Denklemlerde yer alan “h” sembolü izafi olarak yüksek sıcaklıktaki akışkanı, “c” sembolü ise düşük sıcaklıktaki akışkanı temsil etmektedir.

$$\text{Burada } \Delta T_h = T_h - T_{p,h} \quad (3.4)$$

olarak tanımlanır ve sırasıyla  $T_h$  ve  $T_{p,h}$  sıcak ortam için akışkan ve katı yüzey sıcaklıklarını temsil etmektedir.

$$Q = h_c \cdot A \cdot \Delta T_c \quad (3.5)$$

$$\text{Burada } \Delta T_c = T_{p,c} - T_c \quad (3.6)$$

olarak tanımlanır ve benzer şekilde sırasıyla  $T_{p,c}$  ve  $T_c$  katı yüzey ve soğuk ortam için akışkan sıcaklıklarını temsil etmektedir.

### 3-1-2-2) Bölmedeki Isı İletimi

Katı yüzey içerisinde, bilindiği üzere ısı sıcak ortamdan daha düşük sıcaklıktaki soğuk ortama doğru kendiliğinden transfer edilir. Burada, aşağıdaki ilişki (Fourier Isı İletim Denklemi) geçerlidir:

$$\dot{Q} = \frac{k_b}{s} \cdot A \cdot \Delta T_p \quad (3.7)$$

$$\text{Burada } \Delta T_p = T_{p,h} - T_{p,c} \text{ 'dir} \quad (3.8)$$

“ $k_b$ ” bölme malzemesinin ısı iletim katsayısını, “s” ise bölmenin cidar kalınlığını göstermektedir.

### 3-1-2-3) Isı İletimi

Sürekli rejim için aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$\dot{Q} = h_h \cdot A \cdot \Delta T_h = \frac{k_b}{s} \cdot A \cdot \Delta T_p = h_c \cdot A \cdot \Delta T_c \quad (3.9)$$

veya, ortalama ısı transferi katsayısı “U” kullanılarak;

$$h_m = \frac{1}{\frac{1}{h_h} + \frac{s}{k_b} + \frac{1}{h_c}} \quad (3.10)$$

(3.11) denklemi elde edilir.

$$\dot{Q} = U \cdot A_m \cdot \Delta T_{lm} \quad (3.11)$$

Formül (3.11)’e ilişkin açıklamalar:

1. Bölme boyunca sıcaklıklar sabit olmadığından, hesaplamalar için bir ortalama sıcaklık farkı kullanılmalıdır. Sıcaklık eğrisi non-lineerdir, yani aritmetik ortalamadan çok, logaritmik ortalama sıcaklık farkı “ $\Delta T_{lm}$ ” kullanılmalıdır.

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}\right)} \quad (3.12)$$

2. Tüp biçimindeki bir ısı değiştiricisinde, tüpün iç yüzey alanı dış yüzey alanından daha küçüktür, bu durumda ortalama alan ifadesinin ( $A_m$ )’ nin tanımlanması daha doğru olacaktır.

$$A_m = \frac{A_h - A_c}{\ln\left(\frac{A_h}{A_c}\right)} \quad (3.13)$$

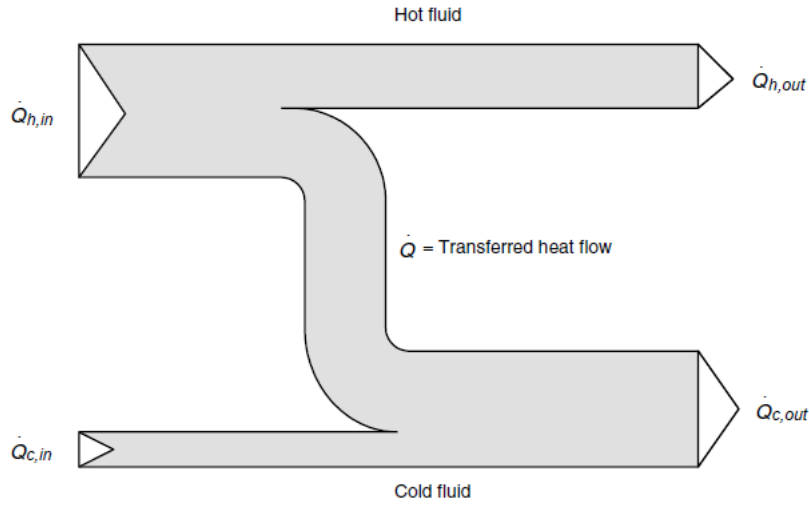
3. Ortalama ısı transfer katsayısı “ $h_m$ ” ısı değiştiricisinin karakteristiklerini belirler. Farklı ısı değiştiricilerinin birbiri ile karşılaştırılmasında kullanılabilir. Özel tasarımlara yönelik olarak  $h_m$  için standart değerler vardır, bu değerler benzer ısı değiştiricilerinin tasarım aşamasında boyutlandırılmasına olanak vermektedir.

### 3-1-2-4) Elektrik benzeşimi

Toplam direnç ifadesi 3.14 ‘teki gibi yazılabilir. Burada “ $s/k_b$ ” oranı iletim direncini, “ $1/h_h$ ” ve “ $1/h_c$ ” oranları da taşınım direncini ifade etmektedir.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_h} + \frac{s}{k_b} + \frac{1}{h_c} \quad (3.14)$$

### 3-2) Isı değiştirici hesaplamaları



**şekil 3.** Isı değiştiricisindeki enerji akışı (kayıplar ihmal)

Transfer edilen ısı miktarı  $\dot{Q}$ , giriş ve çıkış arasındaki farktan hesaplanır ( $\dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out}$ ). Taşınımla olan ısı transfer miktarı giriş ve çıkış için 3.15-17 ifadeleri kullanılarak hesaplanabilir.

$$\dot{Q} = c_p \cdot \dot{m} \cdot T \quad (3.15)$$

$$\dot{Q}_h = \dot{Q}_{h,out} - \dot{Q}_{h,in} = c_{p,h} \cdot \dot{m}_h \cdot (T_{h,out} - T_{h,in}) \quad (3.16)$$

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_{c,out} - \dot{Q}_{c,in} = c_{p,c} \cdot \dot{m}_c \cdot (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (3.17)$$

Enerji dengesi dikkate alındığında:

$$\dot{Q} = -\dot{Q}_h = \dot{Q}_c \quad (3.18)$$

yazılabilir. Dolayısıyla ortalama değer için (3.19-23) ifadeleri yazılabilir.

$$\dot{Q} = \frac{|-\dot{Q}_h| + |\dot{Q}_c|}{2} = \frac{\dot{Q}_c + \dot{Q}_h}{2} \quad (3.19)$$

$$h_m = \frac{\dot{Q}_m}{A_m \cdot \Delta T_{lm}} \quad (3.20)$$

$$h_m = \frac{c_{p,c} \cdot \dot{m}_c \cdot (T_{c,out} - T_{c,in}) + c_{p,h} \cdot \dot{m}_h \cdot (T_{h,out} - T_{h,in})}{2 \cdot A_m \cdot \Delta T_{lm}} \quad (3.21)$$

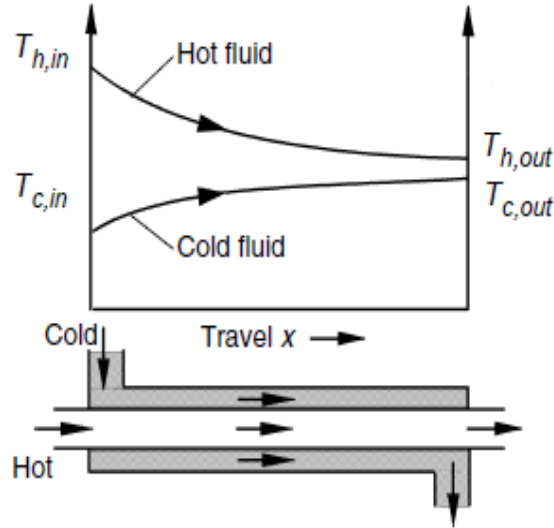
$$\dot{m}_h = \rho_h \cdot \dot{V}_h \quad (3.22)$$

$$\dot{m}_c = \rho_c \cdot \dot{V}_c \quad (3.23)$$

### 3-3) Sıcaklık eğrisi

Isı değiştiricisi içerisindeki akışkanların sıcaklık eğrilerini bir grafik içerisinde gösterildiğinde x yönünde ısı transferinin yüzey boyunca devam ettiği görülür.

Aşağıdaki şekillerde paralel aynı yönlü ve paralel ters yönlü (şekil 4-5.) akışta boru tipi ısı değiştiricisinde örnek sıcaklık eğrileri görülmektedir.

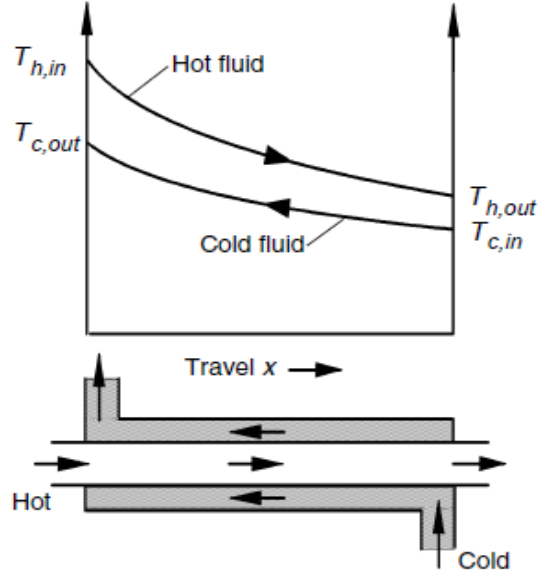


şekil 4. Paralel aynı yönlü akış için sıcaklık eğrisi

Paralel aynı yönlü akış için:

$$\Delta T_{\max} = T_{h,in} - T_{c,in} \quad (3.24)$$

$$\Delta T_{\min} = T_{h,out} - T_{c,out} \quad (3.25)$$



Şekil 5. Paralel ters yönlü akış için sıcaklık eğrisi

Paralel ters yönlü akış için:

$$\Delta T_{\max} = T_{h,in} - T_{c,out} \quad (3.26)$$

$$\Delta T_{\min} = T_{h,out} - T_{c,in} \quad (3.27)$$

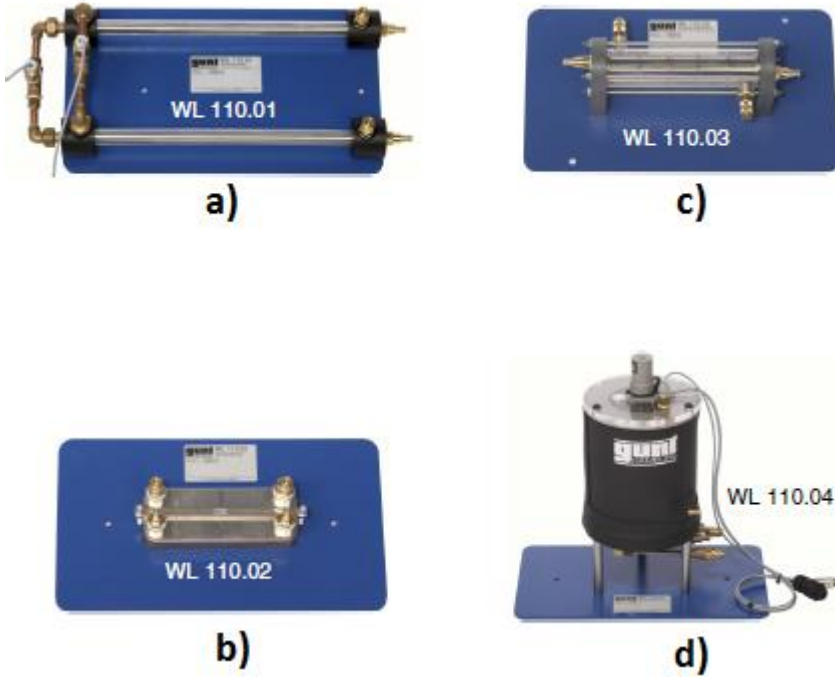
Sıcaklıklar normalde lineer olmaktan çok üsteldir.



#### 4) DENEY DÜZENEĞİ



Şekil 6. WL 110 ısı değiştirici ana ünitesi

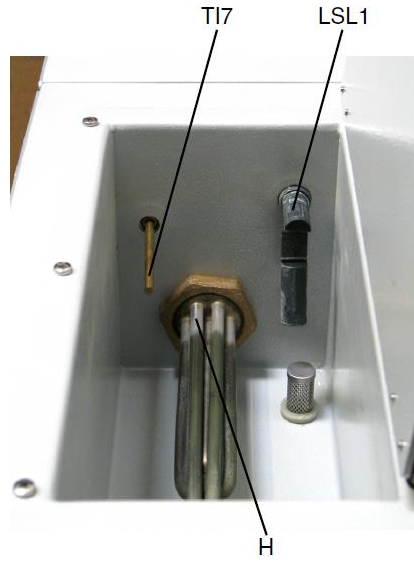


Şekil 7. a) Boru tipi b) Plakalı tip c) Gövde boru tipi d) Su ceketli-karıştırcılı ısı değiştirici



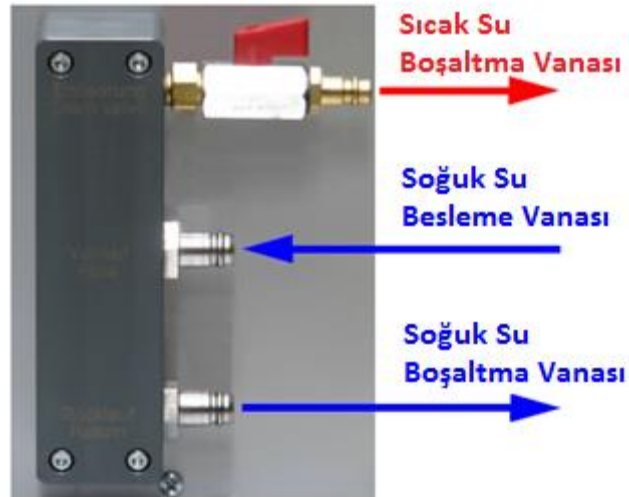
**Şekil 8.** WL 110 ısı değiştirici genel görünüm

<b>1.</b> Taban levhası	<b>6.</b> Kontrol ve ekran paneli
<b>2.</b> Bağlantı bloğu	<b>7.</b> Bağlantı rekorları
<b>3.</b> Sağ muhafaza bölmesi	<b>8.</b> Civatalar
<b>4.</b> Sıcak su tank kapağı	<b>9.</b> Sıcak su için düzenleyici vanası (V1)
<b>5.</b> Sol muhafaza bölmesi	<b>10.</b> Soğuk su için regülatör vanası (V2)

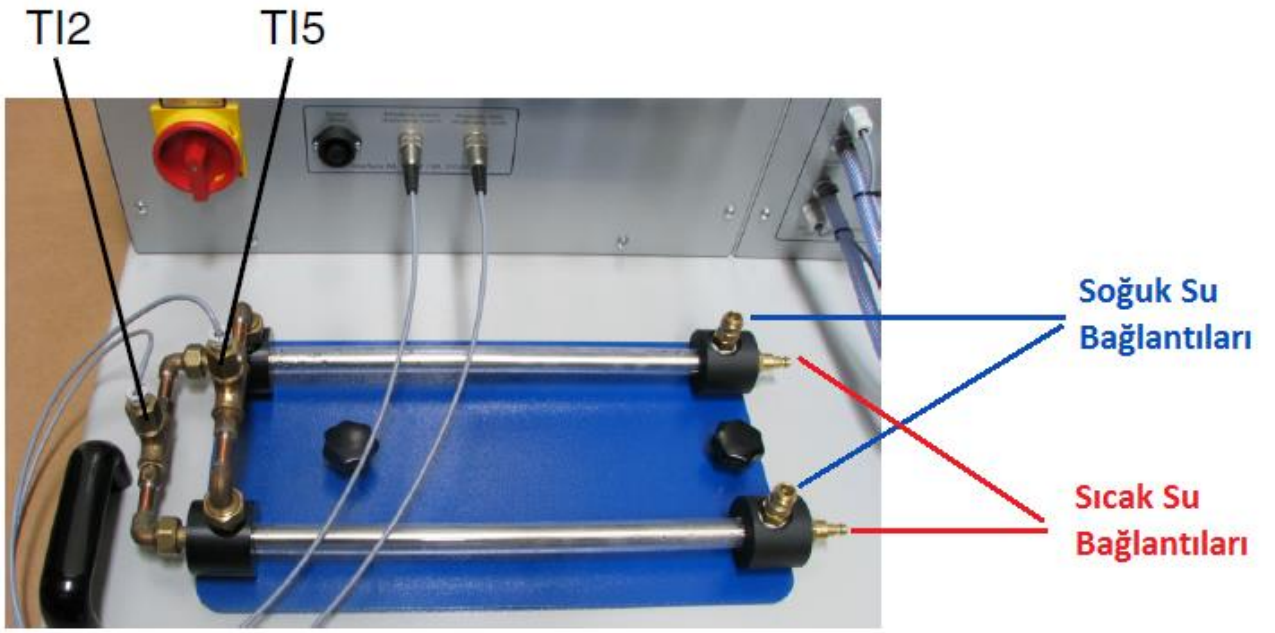


Şekil 9. Sıcak su tankı

TI7	Sıcaklık sensörü
LSL1	Su seviyesi anahtarı
H	Rezistans



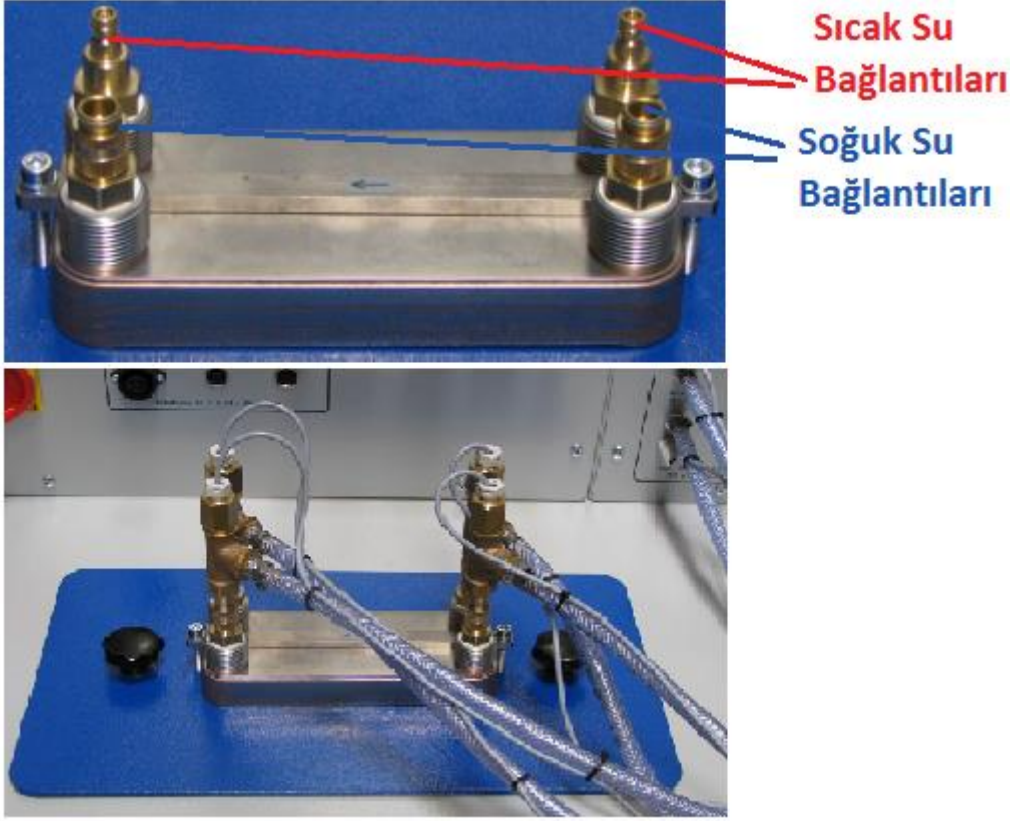
Şekil 10. Bağlantı bloğu



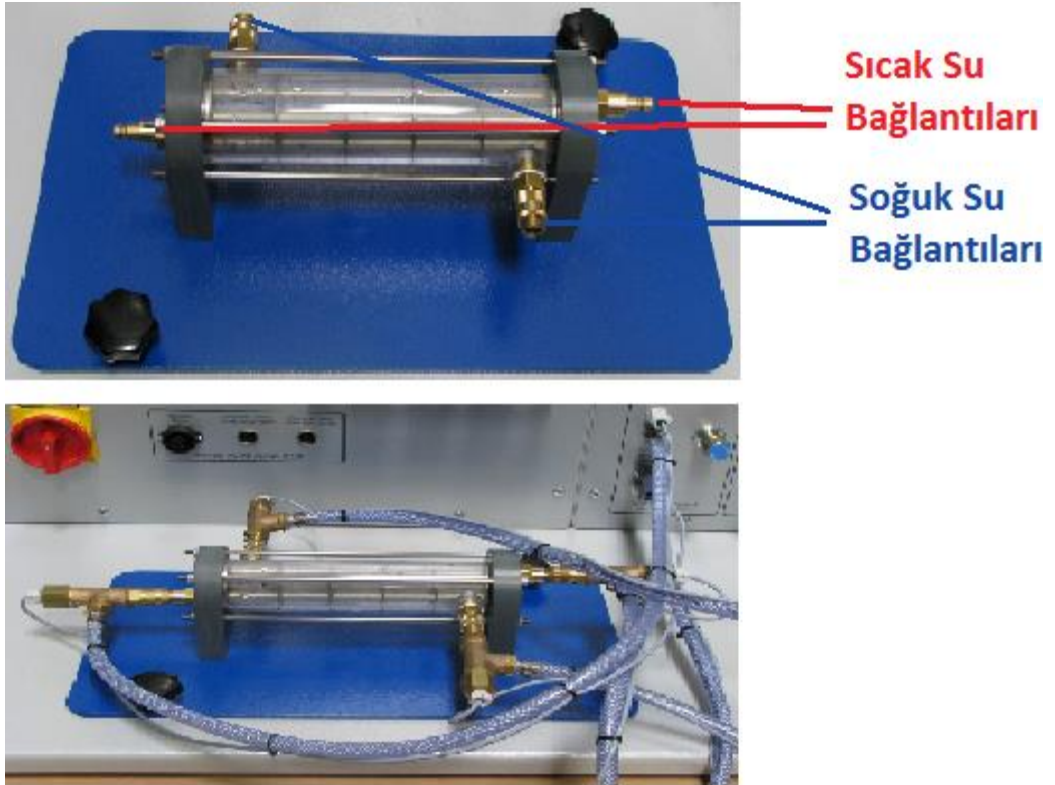
Şekil 11. WL 110.01-Boru tipi ısı değiştirici

TI2	Sıcak su merkez sıcaklık sensörü
TI5	Soğuk su merkez sıcaklık sensörü

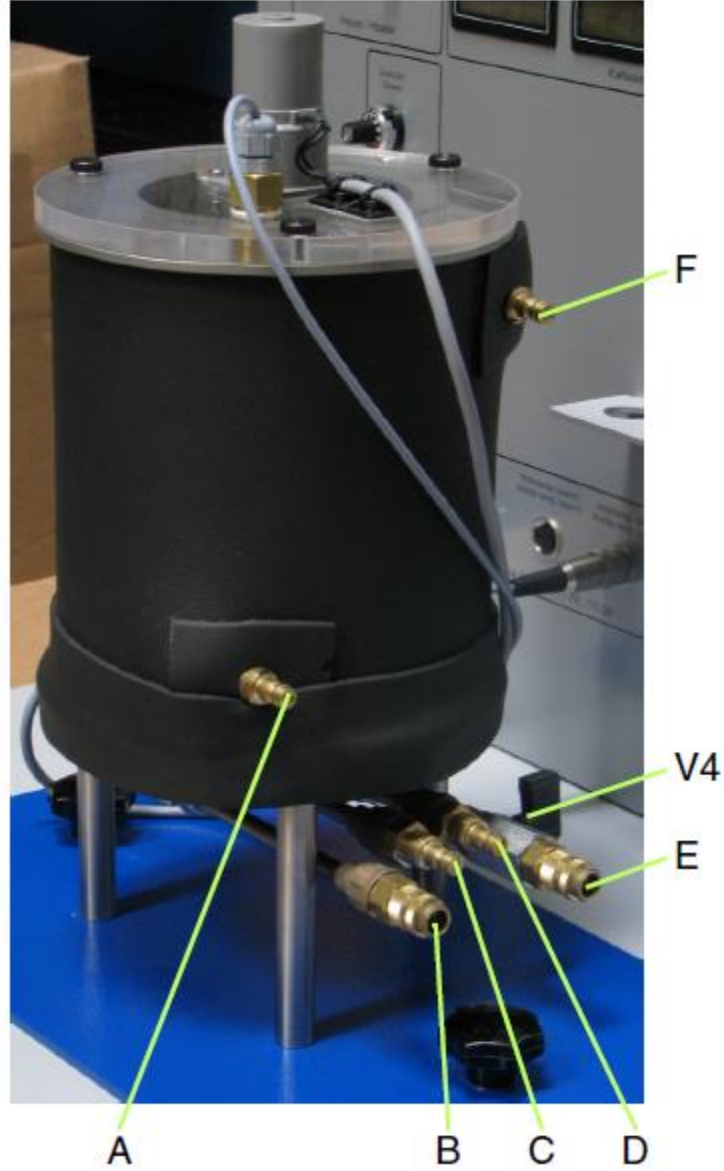




Şekil 12. WL 110.02-Plakalı tip ısı değıştirici



Şekil 13. WL 110.03-Gövde boru tipi ısı değıştirici



Şekil 14. WL 110.04- Su ceketli-karıştırıcılı ısı değıştirici

A-F	Sıcak su ısıtma ceketi
B	Soğuk su besleme
C-D	Sıcak su ısıtma bobini
E	Soğuk su boşaltma
V4	Boşaltma için küresel vana

#### **4-1) WL 110.01-Boru tipi ısı değiştirici teknik verileri**

Paralel aynı yönlü ve paralel ters yönlü akışa imkan vermektedir.

Boyutlar: Uzunluk x genişlik x yükseklik: Yaklaşık olarak 480 x 230 x 150 mm

Ağırlık: Yaklaşık olarak 4 kg

Boru tipi ısı değiştiricisi, temel olarak iki çift borudan meydana gelir.

Boru tipi ısı değiştiricisinin geometrisi ve malzemesi:

Etkin boru uzunluğu: Her biri yaklaşık olarak 360 mm

şeffaf dış boru malzemesi: PMMA

Dış boru cidar kalınlığı: 2 mm

Dış boru iç çapı: 16 mm

İç boru malzemesi: Paslanmaz elik

İ boru cidar kalınlığı: 1 mm

İç boru iç çapı: 10 mm

Ortalama logaritmik ısı transferi alanı, toplam  $A_m$ : Yaklaşık olarak = 0,025 m<sup>2</sup>

Sıcaklık ölçümü:

Tür: Pt 100

Ölçüm aralığı: 0...100°C

#### **4-2) WL 110.02-Plakalı tip ısı değiştirici**

Paralel aynı yönlü ve paralel ters yönlü akışa imkan vermektedir.

Boyutlar: Uzunluk x Genişlik x Yükseklik: Yaklaşık olarak 400 x 230 x 85 mm

Ağırlık: Yaklaşık olarak 3 kg

Plakalı tip ısı değiştiricisinin geometrisi ve malzemesi:

Lehimlenmiş plaka sayısı: 6

Plaka malzemesi: Paslanmaz elik

Isı transferi alanı, toplam, A: Yaklaşık 0,048 m<sup>2</sup>

#### **4-3) WL 110.03-Gövde boru tipi ısı değiştirici**

Paralel aynı yönlü ve paralel ters yönlü akışa imkan vermektedir.

Boyutlar: Uzunluk x genişlik x yükseklik: Yaklaşık olarak 400 x 230 x 110 mm

Ağırlık: Yaklaşık olarak 3 kg

Gövde boru tipi ısı değiştiricisi geometrisi ve malzemesi:

Kabuk malzemesi: PMMA

Kabuk cidar kalınlığı: 3mm

Kabuk iç çapı: 44 mm

7 borudan meydana gelen boru demeti:

Boru malzemesi: Paslanmaz çelik

Etkin boru uzunluğu: 184 mm

Boru cidar kalınlığı: 1 mm

Boru iç çapı: 4 mm

Tampon levha malzemesi: Paslanmaz çelik

Tampon levha sayısı: 4

Tampon levha cidar kalınlığı: 1 mm

Ortalama logaritmik ısı transfer alanı, toplam  $A_m$ : Yaklaşık olarak = 0,02 m<sup>2</sup>

#### **4-4) WL 110.04- Su ceketli-karıştırıcılı ısı değiştirici**

Boyutlar: Uzunluk x Genişlik x Yükseklik: Yaklaşık olarak 400 x 230 x 400 mm

Ağırlık: Yaklaşık olarak 8 kg

Su ceketli ısı değiştirici

Yalıtılmış gömlekleli tank

Boru bobin ve karıştırıcılı

Karıştırıcı türü: Pervane, üç bıçaklı

Karıştırıcı hız aralığı: yaklaşık 20 ... 330 rpm

Su ceketli-karıştırıcılı ısı değiştiricisi geometrisi ve malzemesi:



Nominal tank hacmi: yaklaşık 1,2 lt

Gömlikli tank ve boru bobin malzemesi: paslanmaz çelik

İç gömlek cidar kalınlığı: 2.5 mm

İç gömlek iç çapı: 103 mm

Dış gömlek iç çapı: 127 mm

Tank tabanı cidar kalınlığı: 4 mm

Şeffaf kapak malzemesi: PMMA

Boru bobin cidar kalınlığı: 1 mm

Boru bobin iç çapı: 6 mm

Boru bobin gerilmiş boru uzunluğu: 2300 mm

Ortalama logaritmik ısı transfer alanı, boru bobin,  $A_m$ : yaklaşık 0,05 m<sup>2</sup>

Ortalama logaritmik ısı transfer alanı, iç gömlek, seviyeye bağlı olarak, nominal hacimde  $A_m$ : yaklaşık 0,05 m<sup>2</sup>

Sıcaklık ölçümü:

Tür: Pt 100

Ölçüm aralığı: 0...100°C

## 5) DENEYLER

### Deney Cihazı Çalışma Prosedürü

1-) Veri elde etme programı kurulu olan bilgisayar USB bağlantı kablosuyla ısı değiştirici ana ünitesi WL 110' a bağlanır.

2-) Isı değiştirici ana ünitesi şebekeye (elektrik) bağlanır. Soğuk su besleme ve boşaltma hortumları bağlantı bloğuna bağlanır (bkz. Şekil 10).

3-) Sıcak su tankı su ile doldurulur (bkz. Şekil 9).

4-) Ana anahtar "0"dan "1" konumuna getirilerek ana ünite çalıştırılır.

5-) Mevcut ısı değiştiricilerinden biri ana üniteye önce civatalarla sabitlenir daha sonra sıcak ve soğuk su besleme ve boşaltma boruları bağlanır(Seçilen ısı değiştiricisi WL 110.01 ise ayrıca sıcak ve soğuk su merkez sıcaklık sensörleri ana üniteye bağlanır. Şayet WL 110.04 ısı değiştiricisi seçilirse karıştırıcı güç bağlantı kablosu ve sıcaklık sensörü de ana üniteye bağlanır.).

6-) Soğuk su kaynağındaki soğuk su beslemesi açılır ve soğuk su için regülatör vanası (V2) (bkz. Şekil 8) istenilen debi değerinde açılır.

7-) Pompa çalıştırılır.

8-) Isıtıcı açılır.

9-) Deney biriminden veri elde etme programı kullanılarak sıcaklık eğrileri, farklı akış yönü, debi ve giriş sıcaklıkları için elde edilir.

10-) Sırasıyla ısıtıcı ve pompa kapatılır.

11-) Soğuk su kaynağındaki soğuk su beslemesi ve regülatör vanası (V2) kapatılır.

12-) Ana anahtar “0” konumuna getirilir.

Aynı işlemler farklı ısı değiştiricileri için tekrar edilebilir.

### 5-1) Ölçülecek büyüklükler

WL 110.01-02-03 ısı değiştiricilerinde, farklı debi ve farklı sıcaklıklarda, paralel aynı yönlü ve paralel ters yönlü akış modlarında sıcaklık değerleri alınacak, ortalama ısı transfer katsayıları hesaplanacaktır. WL 110.04 ısı değiştiricisinde ise farklı akışkan debi ve sıcaklıklarında, paralel aynı yönlü ve paralel ters yönlü akış modlarında, bobinden ve ceketten ısıtma modlarında ve karıştırıcının açık/kapalı olduğu durumlarda sıcaklık değerleri alınacak, ortalama ısı transfer katsayısı teorik/deneysel olarak hesaplandıktan sonra karşılaştırılacaktır.

	Deney	ID	Akış yönü	Vc, Vh ltr/dk	SP (T7) °C
ID: Isı değiştirici	V1-01	01	PA	0,7	70
PA: Paralel aynı yönlü akış	V2-01	01	PA	1,4	70
PT: Paralel ters yönlü akış	V3-01	01	PA	2,1	70
Vc: Soğuk su debisi	V4-01	01	PT	1,4	70
Vh: Sıcak su debisi	V5-01	01	PT	1,4	45
SP(T7) : T7 için ayar noktası	V6-01	01	PT	1,4	20
	V7-02	02	PA	1,4	70
	V8-02	02	PT	1,4	70
	V9-03	03	PA	1,4	70
	V10-03	03	PT	1,4	70

**Tablo 1:** WL 110.01-02-03 ısı değiştiricileri için deney parametreleri

### 5-2) Hesaplanacak Büyüklükler

Kullanılan ısı değiştiricisi belirtilerek, akış yönü, debi ve sıcaklık değerleri deney düzeneğinden alınıp elde edilen ortalama ısı transfer katsayısı ve ısı transfer miktarı hesaplanarak, deneylerden elde edilen değerlerle karşılaştırılacaktır. Hem deneysel

çalışmadan hem de hesaplama sonuçlarından elde edilen değerler doğrultusunda sıcaklık eğrileri ve ortalama ısı transfer katsayısı eğrileri ayrı ayrı grafik halinde gösterilecektir.

Deney No	Isı Değiştirici No	Akış Yönü	V <sub>c</sub> , V <sub>h</sub> lt/dk	SP (T <sub>7</sub> ) (°C)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)	T <sub>4</sub> (°C)	T <sub>5</sub> (°C)	T <sub>6</sub> (°C)	Karıştırıcı Devri	U kW/(m <sup>2</sup> K)	Q (kW)

## 6) DENEYDE KULLANILACAK FORMÜLLER

Kullanılacak olan formüller teori kısmında verilmiştir.

## 7) RAPOR SUNUMU

### Rapor Formatı

1. Kapak Sayfası
2. Ölçümler
3. Hesaplamalar
4. Grafikler
5. Sonuçlar ve yorumlar