SU-SU ÇİFTİ TÜRBÜLANSLI AKIŞ
ISI EŞANJÖRÜ DENEYİ
ISI EŞANJÖRÜNDE ETKENLİK TAYİNİ
DENEYİ

Hazırlayanlar

Prof.Dr.M.CAN - Öğr.Gör.E.PULAT - Arş.Gör.A.B.ETEMOĞLU

SU-SU ÇİFTİ TÜRBÜLANSLI AKIŞ ISI EŞANJÖRÜ DENEYİ
ISI EŢANJÖRÜNDE ETKENLİK TAYİNİ DENEYİ
Prof.Dr.M.CAN - Öğr.Gör.E.PULAT - Arş.Gör.A.B.ETEMOĞLU

1. AMAÇ

Bu deneyin amacı ters akışlı iç içe borulu bir ısı eşanjörü üzerinde gerekli gözlemlerin yapılarak, ısı eşanjörü analizinde kullanılan bazı temel hesaplamaların yapılması ve etkenliğin belirlenmesidir.

2. GİRİŞ

Isı değiştiricileri değişik tiplerde olup farklı sıcaklıktaki iki akışkan arasında ısı alışverişini temin ederler. Isı değiştiricileri başlıca yüzeyli ısı değiştiricileri, karışımlı ısı değiştiricileri ve regeneratörler olmak üzere üç ana grupta toplanabilirler. Bu deneyde kullanacağımız eşanjör, iki akışkanın birbirinden ayrılmış bölgelerden aynı anda geçirilerek ısının transfer edildiği yüzeyli tip ısı eşanjörleri sınıfına girmektedir.

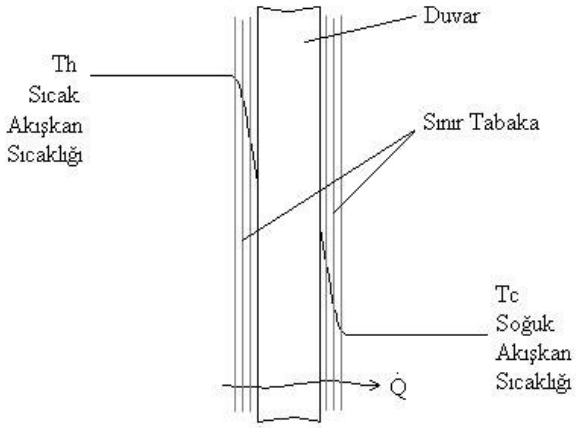
3. TEORİ

3.1. Isı Transferi

Birçok uygulamalarda ısının sıcak bir akışkandan soğuk bir akışkana transfer edilmesi gerekmektedir. Isı eşanjörleri bu amaç için geliştirilmiş ısı cihazlarıdır. Her ne zaman bir sıcaklık farkı olursa ısı transfer edilir ve ısı transferinin iyi bilinen üç şekli (iletim, taşınım ve yayılım) ayrı ayrı veya birarada meydana gelebilir.

3.1.1. Toplam Isı Transfer Katsayısı

Tipik bir ısı eşanjöründe, bir duvar boyunca ayrılmış bulunan sıcak akışkandan soğuk akışkana ısı transfer edilir. Sıcaklık dağılımı aşağıdaki şekilde olduğu gibidir.



Şekil 1. Sıcaklık Dağılımı

Isı T_h-T_c sıcaklık farkı nedeniyle üç direnç boyunca $\left(\frac{1}{A_h h_h}+\frac{x}{A_m k}+\frac{1}{A_c h_c}\right)$ transfer edilir. Seri dirençler için $\dot{Q}$ ısı transfer miktarı aşağıdaki gibidir.

$$\dot{Q}=\frac{T_h-T_c}{\Sigma R}$$

$$\dot{Q}=\frac{T_h-T_c}{\left(\frac{1}{A_h h_h}+\frac{x}{A_m k}+\frac{1}{A_c h_c}\right)}$$

Isı eşanjöründe duvar kalınlığı (yani iç borunun et kalınlığı) genellikle ince olduğu için bütün alanlar eşit kabul edilebilir. O zaman yukarıdaki ifade aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\dot{Q}=A_m.U.(T_h-T_c)$$

Burada; A_m : Ortalama ısı transfer alanıdır.

$$\frac{1}{U}=\frac{1}{h_h}+\frac{x}{k}+\frac{1}{h_c}$$

U, toplam ısı transfer katsayısı olarak adlandırılır. x/k iletim direnci diğerlerine göre genellikle küçüktür. Bununla birlikte, çeperlerde kirlenme olabilir. Yani çeperlerde kireç veya karbon gibi maddeler tabaka oluşturabilirler. Bu durum ısı eşanjörünün tasarımı aşamasında göz önünde tutulmalıdır.

Yüzey ısı transfer katsayılarının yani h_h ve h_c'nin uygun biçimde hesaplanması çok önemlidir. Bu deneyin amaçlarından biri de su-su çifti türbülanslı akış ısı eşanjöründe bilinen metotlarla bu hesaplamaların yapılmasıdır.

3.1.2. Borularda Zorlanmış Taşınım

Taşınımla ısı transferini etkileyen çok sayıda faktör ısı eşanjörü problemlerinin teorik çözümünü hemen hemen imkansız kılar. Bununla birlikte deneysel araştırmalarla desteklenmiş boyut analizi kolayca kullanılabilecek bazı bağıntıların elde edilmesini sağlamış bulunmaktadır. Kullanılan bağıntı genellikle aşağıdaki gibidir.

Nu=f (Re, Pr, geometri)

Burada; boyutsuz sayılar:

$$Nu=\frac{h.L}{k}$$ Nusselt Sayısı

$$Re = \frac{u_m . \rho . L}{\mu} = \frac{u_m . L}{\upsilon}$$ Reynolds Sayısı

$$Pr = \frac{\mu . c_p}{k}$$ Prandtl Sayısı

Düzgün kesit alanlı kanallarda ve borularda türbülanslı akış için çok bilinen Dittus-Boelter bağıntısı;

$$Nu=0.023\ Re^{0.8}\ Pr^{0.4}$$ (Dittus-Boelter-1930)

teklindedir. Burada,

$$L=d_h=\frac{4.\text{Kesit Alanı}}{\text{Islak Çevre}}$$: Karakteristik uzunluk (hidrolik çap-boru ve kanallarda)

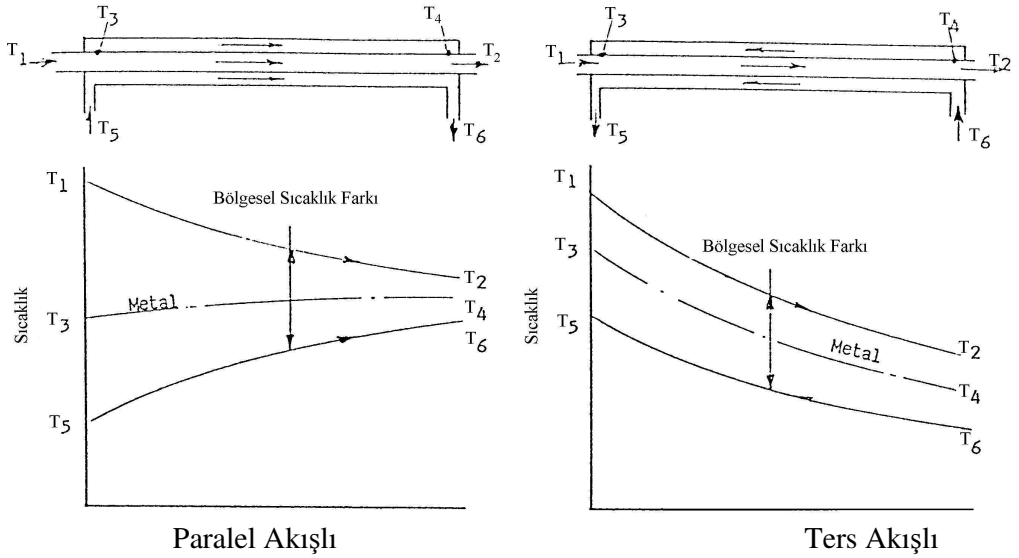
Dairesel borular için $L=d_i$ alınacaktır. Yukarıdaki tüm hesaplamalarda özellikler akışkanın ortalama sıcaklığında alınır.

3.2. Isı Eşanjörü (Isı Değiştirgeci)

Deney tesisatında kullanılan ısı eşanjörü basit iç içe borulu ısı eşanjörüdür. Sadece ters akışlı olarak kullanılacaktır.

3.2.1. Basit İç İçe Borulu Isı Eşanjöründe Sıcaklık Dağılımı

İç içe borulu ısı eşanjöründe sıcaklık dağılımı hem paralel akışlı hem de ters akışlı için aşağıdaki Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Isı Eşanjörlerinde Sıcaklık Dağılımı.

Sıcak ve soğuk akışkan için logaritmik ortalama sıcaklık farkı;

$$\Delta T_{m_{log}} = \frac{(T_1 - T_5) - (T_2 - T_6)}{\ln \frac{(T_1 - T_5)}{(T_2 - T_6)}}$$ olarak verilir.

Benzer ifade, akışkandan duvara logaritmik ortalama sıcaklık farkının elde edilmesi içinde yazılabilir. Buna göre ısı transfer miktarı;

$$\dot{Q} = A_m . U . \Delta T_{m_{log\,h}}$$

denklemiyle verilir.

Deney tesisatında sıcak ve soğuk akışkanlar hem aynı yönde hemde zıt yönde akabilirler. Ayrıca her iki akışkan için giriş ve çıkış sıcaklıkları ile metalin (yani duvarın) duvar sıcaklığı ısı transfer alanının başlangıç ve bitişinde ölçülebilmektedir.

3.2.2. Isı Transfer (Isı Taşınım) Katsayısının Bulunması

Her iki akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları ve kütlesel debileri gözlenerek aşağıdakiler hesaplanabilir.

i. Sıcak akışkandan olan ısı transfer miktarı

$$\dot{Q}_i = \dot{m}_i . c_p . (T_1 - T_2)$$

ii. Soğuk akışkana olan ısı transfer miktarı

$$\dot{Q}_o = \dot{m}_o . c_p . (T_5 - T_6)$$

iii. Toplam ısı transfer katsayısı

$$U = \frac{\dot{Q}_i}{A_m \frac{(T_1 - T_5) - (T_2 - T_6)}{\ln \frac{(T_1 - T_5)}{(T_2 - T_6)}}}$$

iv. Sıcak akışkan ile borunun iç yüzeyi arasındaki yüzey ısı transfer katsayısı

$$h_i = \frac{\dot{Q}_i}{A_i \frac{(T_1 - T_3) - (T_2 - T_4)}{\ln \frac{(T_1 - T_3)}{(T_2 - T_4)}}}$$

v. Soğuk akışkan ile borunun dış yüzeyi arasındaki yüzey ısı transfer katsayısı

$$h_o = \frac{\dot{Q}_i}{A_o \dfrac{(T_3 - T_5) - (T_4 - T_6)}{\ln \dfrac{(T_3 - T_5)}{(T_4 - T_6)}}}$$

3.2.3. Etkenlik

Bir ısı eşanjörünün etkenliğini tanımlayabilmek için önce olabilecek maksimum ısı transfer miktarı, Q_{max}'ın hesaplanması gerekmektedir. Maksimum ısı transfer miktarı prensipte, ters akışlı bir ısı eşanjöründe sağlanabilir. Böyle bir akışkanda olabilecek maksimum sıcaklık farkı, sıcak akışkanın giriş sıcaklığı ile soğuk akışkanın giriş sıcaklıkları arasındaki farktır. (yani T_1-T_6)

Sıcak akışkandan olan ısı transferi ,

$$\dot{Q}_i = \dot{m}_i.c.(T_1 - T_2) = C_i.(T_1 - T_2) \qquad \text{Burada } C_i = m_i.c$$

Soğuk akışkandan olan ısı transferi

$$\dot{Q}_o = \dot{m}_o.c.(T_5 - T_6) = C_o.(T_5 - T_6) \qquad \text{Burada } C_o = m_o.c$$

Maksimum ısı transferi

$$\dot{Q}_{max} = C_{min}.(T_1 - T_6)$$

Burada C_{min}, C_i ve C_o'dan hangisi küçükse ona eţittir.

Bu durumda bir eţanjörün etkenliği ,ε, gerçekte olan ısı transfer miktarının mümkün olabilecek maksimum ısı tranfer miktarına oranı olarak tanımlanır ve aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}}$$

Tanımdan da anlaşılacağı gibi etkenlik birimsizdir ve $0 \leq \varepsilon \leq 1$ ţeklindedir.

4. DENEY TESİSATI

Deney tesisatı şematik olarak Şekil 3'te gösterilmiştir. Tesisatı oluşturan elemanlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Isı Eşanjörü: Isı eşanjörü çift borulu bir ısı eşanjörüdür. İçteki borudan sıcak su, dıştaki borudan soğuk su akmaktadır. Sıcak ve soğuk suyun giriş ve çıkışındaki ile ısı transfer yüzeyinin uçlarındaki termo elemanlarla (Thermocouple) bu sıcaklıklar ölçülebilmektedir.

Sıcak Su Devresi: Sıcak su elektrik resistanslı su ısıtıcısı ile sağlanır ve eşanjörün içteki borusunun üst ucundan beslenir. Su eşanjör boyunca aşağıya doğru akarken soğur ve alt kısımda sirkülasyonu sağlayan bir pompadan geçer. Su daha sonra akış hızına göre ya düşük hızlı akışlar için olan akış ölçerden (Low Flow Meter) yada yüksek hızlı akışlar için olan akış ölçerden (High Flow Meter) geçer. Daha sonra tekrar ısıtıldığı su ısıtıcısına geri döner. Sudaki havayı almak için ısıtıcı tankına plastik bir ızgara (Plastic Mesh Screen) konulmuştur.
Soğuk Su Devresi : Soğuk su hem paralel akışlı hem de ters akışlı olacak şekilde şebeke suyundan sağlanır ve eşanjöre girmeden önce bir akış kontrol valfinden (Cooling Water Flow Meter) geçer.
Kontrol : Sıcak ve soğuk suyun akış hızı valflerle kontrol edilir. Bir triyak (triac-üçlü) kontrol su ısıtıcısının güç girişini kontrol eder ve su ısıtıcısındaki sıcaklığı hisseden bir termostat su sıcaklığının yaklaşık 85°C'de kalmasını sağlar.
Sıcaklık : Seçici anahtarlı bir dijital termometre (Temperature Indicator), su ve metal sıcaklık termo elemanının hissettiği sıcaklıkları gösterir.
Isı Transferi : Her akıştaki ısı transfer miktarı, akış sıcaklıklarındaki değişiklik ve kütle akış hızından (kütlesel debi) hesaplanır.

4.1. Tesisatla İlgili Bilgiler

<u>Isı Eşanjörü :</u>

Ortalama Isı Transfer Alanı ,	$A_m = 0.0238\ m^2$
İç Boru Kesit Alanı	$S_i = 49\ mm^2$
Dış Boru ile İç Boru Arasındaki Kesit Alanı	$S_o = 26\ mm^2$

İç Boru Malzemesi	: Bakır
Dış Çap (d_o)	: 9.5 mm
İç Çap (d_i)	: 7.9 mm
Uzunluk	: 870 mm

Dış Isı Transfer Alanı,	$A_o = 0.026\ m^2$
İç Isı Tranfer Alanı,	$A_i = 0.0216\ m^2$
Ortalama Isı Transfer Alanı,	$A_m = 0.0238\ m^2$
Akış Alanı,	$S_i = 49.10^{-6}\ m^2$

Dış Boru Malzemesi	: Bakır
Dış Çap	: 12.7 mm
İç Çap	: 11.1 mm
Ara Kesit Alanı,	$S_o = 26.10^{-6}\ m^2$

Su Isıtıcısı

3 kW daldırma su ısıtıcısı

Akış Ölçerler

Hepsi Değişen Alanlı Tiptedir

Soğuk su : 4 g/s-50 g/s

Sıcak su : 4 g/s-60 g/s

Sıcak su : 20 g/s-190 g/s

Digital Sıcaklık Göstergesi

Seçici anahtarlı, 0.1 C çözümlemeli

Isıtıcı Kontrolü

Triyak Kontrollü

Soğuk Su

Saatte 180 lt (at 15m head)

Suyun Özgül Isısı

C_p=4.18 kJ/kgK (40°C'de) ; C_p=4.22 kJ/kgK (100°C'de)

5.DENEYİN YAPILIŞI

5.1. Isı Transfer Miktarının, Logaritmik Ortalama Sıcaklık Farkı ve Toplam Isı Transfer Katsayısının Hesaplanması

a) Eţanjör ters akış için ayarlanır.
b) Isıtıcı tankındaki su seviyesinin doğru düzeyde olup olmadığı kontrol edilir.
c) Düşük akış kontrol valfi kapatılıp yüksek akış kontrol valfi tamamen açılır.
d) Su boruları ve ısıtıcı anahtarları açılır ve ısıtıcı kontrolü yüksek bir değere ayarlanır.
e) Sıcak su giriş sıcaklığı yaklaşık T_1 70°C'ye artırılır ve akış hızı 80 g/s'ye ayarlanır.
f) T_1 70°C'de sabit kalacak şekilde soğuk su akış hızı ayarlanır.
g) Bu ayarlamalar doğrultusunda yapılan deneyden alınan sonuçlarla gözlem tablosu-1 doldurulur.

5.1.1. HESAPLAMALAR ve BULUNACAK DEĞERLER

- Sıcak sudan olan ısı transferi, $\dot{Q}_i$
- Soğuk suya olan ısı transferi, $\dot{Q}_o$
- Sıcaklık dağılımı çizilecek.
- Sıcak ve soğuk akışkan arasındaki logaritmik ortalama sıcaklık farkı ΔT_{mlog} (LOSF)
- Toplam ısı transfer katsayısı, U
- Etkenlik, ε

5.2. İç ve Dış Yüzey Isı Transfer Katsayısının Hesaplanması ve Akışkan Hızının Bunlar Üzerine Etkisi

a) Eşanjör ters akış için ayarlanır.
b) Isıtıcı tankındaki su seviyesinin doğru düzeyde olup olmadığı kontrol edilir.
c) Yüksek akış kontrol valfi ve su anahtarları açılır. Isıtıcı açılıp maksimum seviyeye ayarlanır ve sıcak su girişinin yaklaşık 70°C'ye ulaşması beklenir.

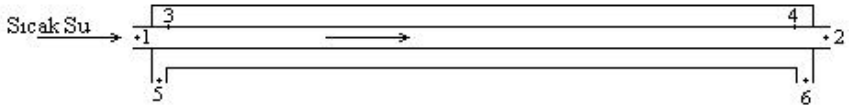
d) Ortalama sıcak su sıcaklığı ($\frac{T_1 + T_2}{2}$) yaklaşık 70°C olacak şekilde soğuk su debisi ayarlanır.
e) Bu durumun sabit kalmasını sağlamak için bir süre beklenir ve alınan sonuçlar gözlem tablosu-2'ye doldurulur.
f) Sıcak su debisi maksimum değerin yaklaşık %80'ni oranında azaltılır ve soğuk su debisi değiştirilmeden ortalama sıcak su sıcaklığını orijinal değerine getirmek için ısıtıcı kontrolü kullanılır.
g) Bu durumun sabit kalmasını sağlamak için bir süre beklenir ve alınan sonuçlar gözlem tablosu-2'ye tekrar doldurulur.
h) f ve g işlemleri sıcak su debisi %60, %40 ve %20 oranında azaltılarak tekrar edilir.

5.2.1. HESAPLAMALAR ve BULUNACAK DEĞERLER

- Sıcak sudan olan ısı transferi, $\dot{Q}_i$
- Soğuk suya olan ısı transferi, $\dot{Q}_o$
- İç borudaki su hızı, u_i
- Dış borudaki su hızı, u_o
- Logaritmik ortalama sıcaklık farkı, ΔT_{mlogi} (Sıcak sudan borunun iç yüzeyine olan).
- Logaritmik ortalama sıcaklık farkı, ΔT_{mlogo} (Borunun dış yüzeyinden soğuk suya olan).
- Logaritmik ortalama sıcaklık farkı, $\Delta T_{mlog\text{-}toplam}$ (Sıcak sudan soğuk suya olan).
  Burada; $\Delta T_{mlog\text{-}toplam} = \Delta T_{mlogi} + \Delta T_{mlogo}$
- İçteki borunun iç yüzeyindeki yüzey ısı transfer katsayısı, h_i
- İçteki borunun dış yüzeyindeki yüzey ısı transfer katsayısı, h_o
- Toplam ısı transfer katsayısı, U
- Etkenlik, ε
- Akış hızının ısı transfer katsayıları üzerine etkisi grafiksel olarak gösterilecek.

Test		1	2	3	4	5
Q_t	W					
u_t	ms^{-1}					
u_a	ms^{-1}					
h_t	$kWm^{-2}\ K^{-1}$					
h_a	$kWm^{-2}\ K^{-1}$					
U	$kWm^{-2}\ K^{-1}$					
ε	-					

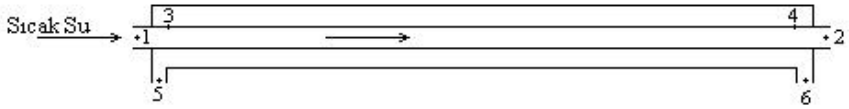
DENEY GÖZLEM TABLOSU-1



Akış : Ters Akışlı

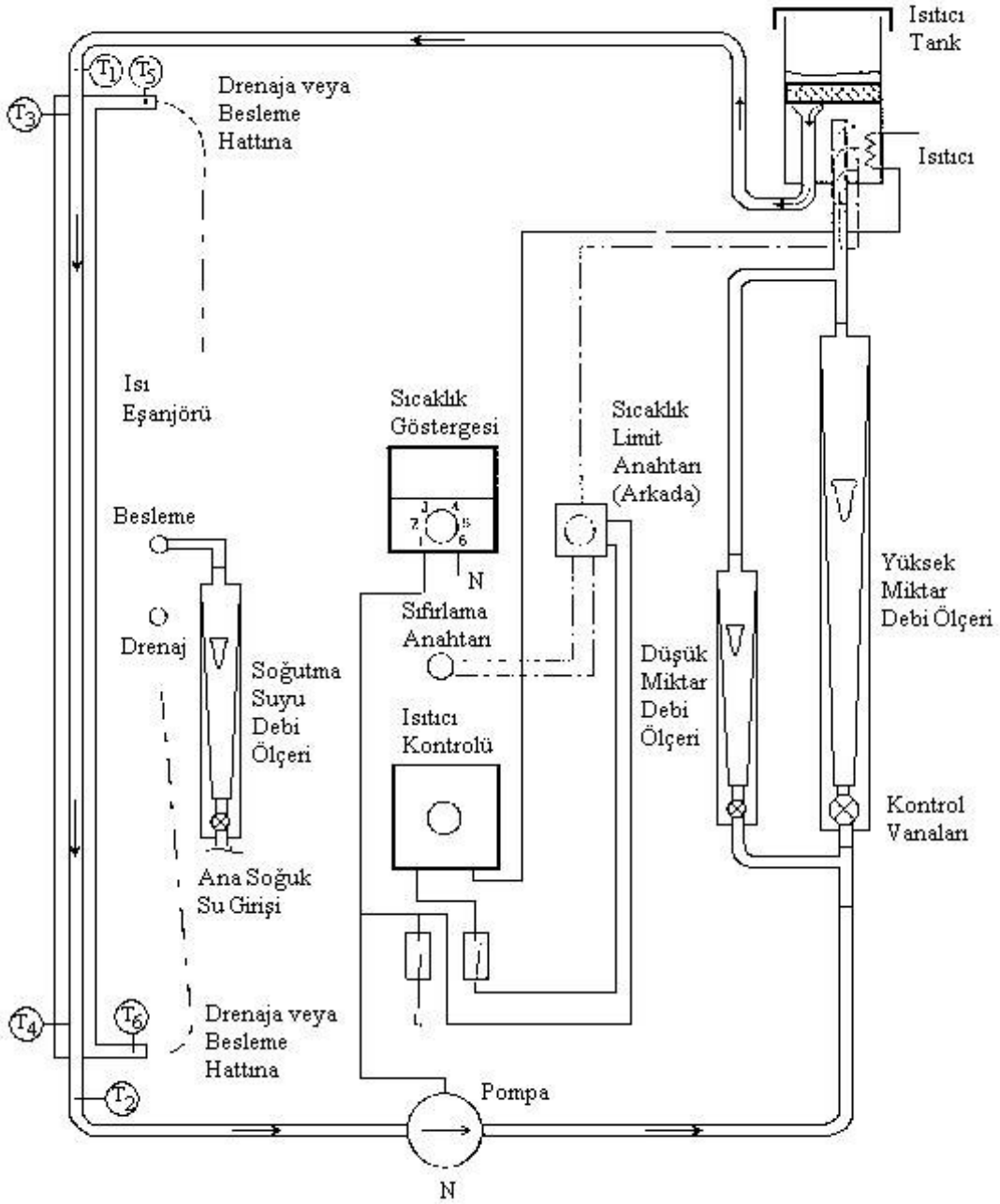
Test	1	2	3	4	5	6
T_1 Sıcak Su Girişi °C						
T_2 Sıcak Su Çıkışı °C						
T_3 Metal °C						
T_4 Metal °C						
T_5 Soğutma Suyu Çıkışı °C						
T_6 Soğutma Suyu Girişi °C						
$\dot{m}_i$ Sıcak Su Debisi gs^{-1}						
$\dot{m}_o$ Soğutma Suyu Debisi gs^{-1}						
$(T_1+T_2)/2$ Ort. Sıcak Su Sıcaklığı °C						
c Ortalama Sıcaklıkta Özgül Isı $Jkg^{-1}K^{-1}$						
ρ Ortalama Sıcaklıkta Yoğunluk kgm^{-3}						
k Ortalama Sıcaklıkta Isıl İletkenlik $Wm^{1}K^{-1}$						
μ Ortalama Sıcaklıkta Viskozite Nsm^{-2}						
Pr_i Ortalama Sıcaklıkta Prandtl Sayısı						
Re_i Ortalama Sıcaklıkta Reynolds Sayısı						

DENEY GÖZLEM TABLOSU-2



Akış : Ters Akışlı

Test	1	2	3	4	5	6
T_1 Sıcak Su Girişi °C						
T_2 Sıcak Su Çıkışı °C						
T_3 Metal °C						
T_4 Metal °C						
T_5 Soğutma Suyu Çıkışı °C						
T_6 Soğutma Suyu Girişi °C						
$\dot{m}_i$ Sıcak Su Debisi gs^{-1}						
$\dot{m}_o$ Soğutma Suyu Debisi gs^{-1}						
$(T_1+T_2)/2$ Ort. Sıcak Su Sıcaklığı °C						
c Ortalama Sıcaklıkta Özgül Isı $Jkg^{-1}K^{-1}$						
ρ Ortalama Sıcaklıkta Yoğunluk kgm^{-3}						
k Ortalama Sıcaklıkta Isıl İletkenlik $Wm^{1}K^{-1}$						
μ Ortalama Sıcaklıkta Viskozite Nsm^{-2}						
Pr_i Ortalama Sıcaklıkta Prandtl Sayısı						
Re_i Ortalama Sıcaklıkta Reynolds Sayısı						



Şekil 3. Su-Su Çifti Türbülanslı Isı Eşanjörü Deney Tesisatı.