

---

**ÇİFT BORULU BİR ISI DEĞİŞTİRİCİSİNDE ISI YÜKLERİNİN VE TOPLAM ISI  
TRANSFER KATSAYISININ BELİRLENMESİ**

*Düzenleyen: Prof. Dr. Serhan KÜÇÜKA – Doç. Dr. Mehmet Akif EZAN*

*Deney Sorumlusu: Doç. Dr. Mehmet Akif EZAN*

*Dr. Ayşe Uğurcan ATMACA & Dr. Ersin ALPTEKİN*

---

## **! LÜTFEN DİKKAT !**

- 1) DENEY FÖYÜNÜN TAMAMI **DENEYE GELMEDEN ÖNCE** OKUNMALIDIR...
- 2) DENEY FÖYÜYLE BİRLİKTE DENEYE KATILIM ZORUNLUDUR...
- 3) DENEYDE YAPILACAK ÖLÇÜMLERİ HER ÖĞRENCİ BİREYSEL OLARAK NOT ETMELİDİR...
- 4) RAPORLARIN **TESLİM SÜRESİ ERTESİ HAFTA PERŞEMBE SAAT 17.00'A KADARDIR, GECİKMELİ RAPORLAR DEĞERLENDİRME DIŞIDIR...**

**BAŞARILAR...**

## ÇİFT BORULU BİR ISI DEĞİŞTİRİCİSİNDE ISI YÜKLERİNİN VE TOPLAM ISI TRANSFER KATSAYISININ BELİRLENMESİ

Düzenleyen: Prof. Dr. Serhan KÜÇÜKA – Doç. Dr. Mehmet Akif EZAN

Deney Sorumlusu: Doç. Dr. Mehmet Akif EZAN

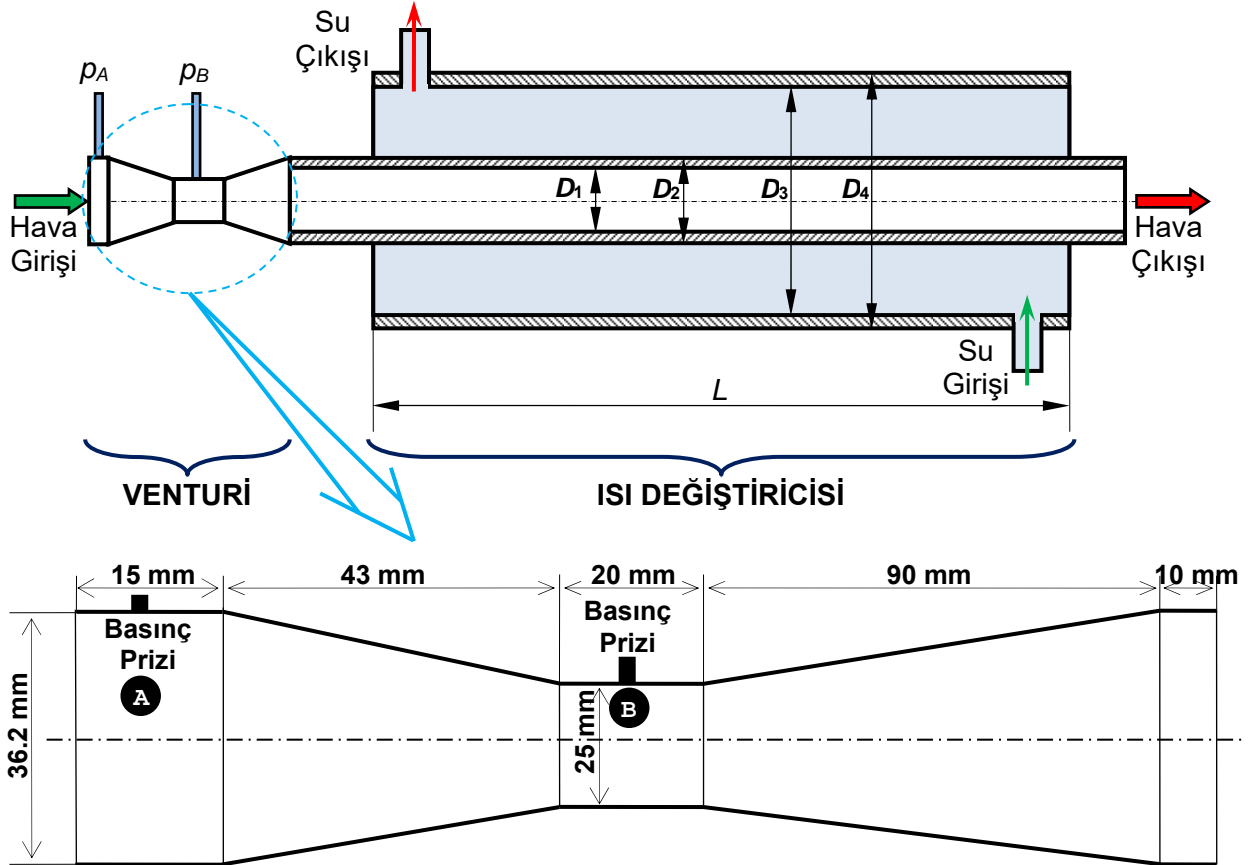
Dr. Ayşe Uğurcan ATMACA & Dr. Ersin ALPTEKİN

### 1. Deneyin Amacı

Bu deneysel çalışmada, *akışkanlar mekaniği*, *termodinamik* ve *ısı transferi* derslerinde edinilen temel bilgiler kullanılarak, bir ısı değıştircisinin akış ve ısı transferi analizi yapılacaktır. Isı değıştircisinde sıcak ve soğuk akışkanların kütledebileri ile akışkanlar arası aktarılan/çekilen ısı transfer miktarları deneysel olarak belirlenecek ve sistem için logaritmik sıcaklık farkı ve toplam ısı transferi katsayısı hesaplanacaktır.

### 2. Deney Düzenegi

Deney düzenegi; çift borulu bir ısı değıştircisi, su dolaşım hattı, hava dolaşım hattı, sıcaklık, basınç ve debi ölçüm cihazlarından oluşmaktadır. Çevre havası, bir fan yardımıyla emilerek, elektrikli ısıtıcıya gönderilmekte ve burada yaklaşık 70°C sıcaklığa ulaşmaktadır. Isıtıcıdan çıkan hava, ısı değıştircisinin iç borusuna gönderilmektedir. Isı değıştircisi dış borusunda (*kovan*) ise ortam sıcaklığında su dolaştırılmaktadır. Kullanılan ısı değıştircisinin iç boru iç çapı  $D_1 = 36.2 \text{ mm}$ , iç boru dış çapı  $D_2 = 42 \text{ mm}$  ve dış boru iç çapı  $D_3 = 70 \text{ mm}$  dış boru dış çapı ise  $D_4 = 76 \text{ mm}$ 'dir. Isı transfer bölgesinin uzunluğu ise  $L = 1650 \text{ mm}$ 'dir. Hava ısı değıştircisine girmeden önce venturi üzerinden geçirilmekte ve venturi girişile ( $p_A$ ) boğazı ( $p_B$ ) arasında oluşan basınç farkı yardımıyla hava debisi hesaplanabilmektedir. Isı değıştircisine ve venturiye ait geometrik büyüklükler Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1 Isı değıştircisi ve venturi geometrisi

Bernoulli prensibine göre, sürtünmesiz akışlarda akış hızı arttıkça basıncı azalmaktadır. Venturinin boğaz kesitinde hız en yüksek değerine ulaşmakta ve giriş ile boğaz kesitleri arasındaki basınç farkı ölçülerek debi hesaplanabilmektedir. Debinin hesaplanmasına ilişkin detaylar sonraki bölümlerde açıklanmaktadır.

### 3. Deneyin Tanımlanması

Çift borulu ısı değiştiricisinin iç borusundan sıcak hava, dış borusundan (*kovan*) ise ortam sıcaklığında su dolaştırılmaktadır. *Hava debisi* ( $\dot{m}_{hava}$ ), *su debisi* ( $\dot{m}_{su}$ ), su ve havanın sisteme *giriş-çıkış sıcaklıkları* ( $T_{hava, giriş}$ ,  $T_{hava, çıkış}$ ,  $T_{su, giriş}$ ,  $T_{su, çıkış}$ ) ölçülerek havadan suya ısı geçişi hesaplanacaktır. Hava ve su akışkanları arasındaki logaritmik sıcaklık farkının ve ısı transfer yüzey alanının kullanılması ile toplam ısı transfer katsayısı deneysel olarak hesaplanacaktır. Bunun yanında toplam ısı transfer katsayısı; boru içi akış, iç borunun ısıl iletim direnci ve eş merkezli boru halkasındaki akış için tanımlanan bağıntılar kullanılarak teorik olarak da hesaplanacak ve elde edilen sonuç deneysel yaklaşımla karşılaştırılacaktır.

### 4. Deneyin Yapılışı

- Deney başlamadan önce, venturideki basınç farkını ölçmek için kullanılan basınç prizi bağlantılarının doğru yapılmış olduğunu, manometrenin dengede (*terazide*) olduğunu ve sıfır ayarının yapılmış bulunduğunu kontrol ediniz. Benzer şekilde su debisini hesaplamak amacıyla kullanılan manometre setinin de dengede bulunduğunun kontrolünü yapınız.
- Sıcaklık ölçümünde kullanılan ısı çiftlerin hava giriş-çıkış ve su giriş-çıkış sıcaklıklarını ölçecek şekilde uygun yerlere bağlanmış olduğunu kontrol ediniz.
- Hava ve su dolaşımını sağlamak üzere fan ve pompayı çalıştırınız.
- Hava akışının gerçekleştiğine emin olduktan **sonra** ısıtıcıları çalıştırınız.
- Sistemi 10 dakika kadar çalıştırarak sıcaklıkların dengeye gelmesini bekleyiniz.
- Su ve hava debilerini hesaplayabilmek için debi ölçüm cihazları üzerindeki basınç farklarını ölçünüz.
- Su giriş ve çıkış, hava giriş ve çıkış sıcaklıklarını denge durumu için ölçünüz.
- Su ve hava debilerini değiştirerek deneyi tekrarlayınız.

Denge durumu için alınan sıcaklık ve basınç farkı değerleri **Tablo 1** üzerine işlenerek hesaplama kısmına geçilebilir.

**Tablo1** Deney verileri

$T_{hava, giriş}$ :	(°C)	$T_{hava, çıkış}$ :	(°C)
$T_{su, giriş}$ :	(°C)	$T_{su, çıkış}$ :	(°C)
$\Delta p_{hava}$ :	(kPa)		
$\Delta p_{su}$ :	(mmSS)		
$\dot{m}_{hava}$ :	(kg/s)		
$\dot{m}_{su}$ :	(kg/s)		
<i>Su venturisi boyutları:</i> $D_A =$ (mm) $D_D =$ (mm)			

## 5. Akış Hesaplamaları

### 5.1 Hava debisinin hesaplanması

Hava debisinin belirlenmesinde kullanılan venturiye ait başlıca ölçüler Şekil 1’de gösterilmiştir. Sıkıştırılmaz ve sürtünme kaybı olmayan yatay düzlemdeki akışlar için *Bernoulli* bağıntısı,

$$\frac{1}{2} \rho V^2 + p = \text{sbt} \quad (1)$$

şeklinde. Venturi *girişi* (*A*) ve *boğaz* (*B*) kesitleri arasındaki Bernoulli bağıntısı aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$\frac{1}{2} \rho V_A^2 + p_A = \frac{1}{2} \rho V_B^2 + p_B \quad (2)$$

Diğer yandan (*A*) ve (*B*) kesitleri için süreklilik denklemi

$$\rho A_A V_A = \rho A_B V_B \quad (3)$$

şeklinde veya açık olarak,

$$V_A = \frac{A_B}{A_A} V_B \Rightarrow V_A = \left( \frac{D_B}{D_A} \right)^2 V_B \quad (4)$$

yazılabilir. (4) numaralı eşitlik, (2) bağıntısında yerine konularak **boğaz kesitindeki hız** için,

$$V_B = C_D \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho (1 - \beta^4)}} \quad (5)$$

eşitliği elde edilir. Burada,

- $V_B$  : Boğaz kesitindeki akış hızı, (m/s)
- $\Delta p$  : Giriş ve boğaz kesitleri arasındaki basınç farkı, (Pa)
- $\rho$  : Akışkanın (*havanın*) yoğunluğu, (kg/m<sup>3</sup>)
- $\beta$  : Çapların oranı,  $D_B/D_A$
- $C_D$  : Akış sürtünmelerinden ileri gelen venturi katsayısı, standart venturi için yaklaşık 0.98 alınabilir.

*NOT: Deneyde havanın yoğunluğu venturi giriş sıcaklığında ve standart atmosfer basıncında ideal gaz bağıntısından hesaplanabilir...*

### 5.2 Su debisinin hesaplanması

Isı değiştiricisine gönderilen su, standart bir venturi setinden geçirilmektedir. Venturi giriş ve boğaz kesitlerinin çapları set üzerinde gösterilmiştir. Bu kesitler arası *basınç farkı* yine set üzerinden okunabilmektedir. Bu değerler yardımıyla, hava debisi için yapılan hesaba benzer şekilde su debisi de elde edilebilir.

## 6. Isıl Hesaplamalar

### 6.1 Aktarılan ısı enerjisi

Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilerek, akışkanların aktardığı/çektığı ısılar entalpi değişimine eşitlenebilir.

$$\text{Havanın aktardığı ısı miktarı: } q_{hava} = \dot{m}_{hava} (h_{giriş} - h_{çıkış})_{hava} = \dot{m}_{hava} c_{p,hava} (T_{giriş} - T_{çıkış})_{hava} \quad (6)$$

$$\text{Suyun çektiği ısı miktarı: } q_{su} = \dot{m}_{su} (h_{giriş} - h_{çıkış})_{su} = \dot{m}_{su} c_{p,su} (T_{giriş} - T_{çıkış})_{su} \quad (7)$$

Bu iki değer ayrı ayrı hesaplanacak ve karşılaştırılacaktır. İki değer *farklı olması durumunda*, sonraki hesaplamalarda **hava tarafından** bulunan değer esas alınacaktır.

### 6.2 Toplam ısı transfer katsayısının DENEYSEL olarak hesaplanması

Isı değiştiricisinde akışkanlar arası geçen ısı miktarı, toplam ısı transfer katsayısı cinsinden şu şekilde tanımlanır,

$$q = (UA) \Delta T_{lm} \quad (8)$$

bu bağıntı düzenlenerek toplam ısı transfer katsayısı çekilebilir,

$$U = q / A \Delta T_{lm} \quad (9)$$

burada,

- $q$  : Akışkanlar arası anlık ısı transferi miktarı, (W)
- $\Delta T_{lm}$  : Logaritmik ortalama sıcaklık farkı
- $U$  : Toplam ısı transfer katsayısı, (W/m<sup>2</sup>K)
- $A$  : Isı transfer yüzey alanı, (m<sup>2</sup>)

Silindirik borularda, boru iç ve dış yüzeyleri farklı olduğu için, hangi yüzey esas alındı ise, toplam ısı geçiş katsayısı o yüzeye göre değerlendirilir. İç boru dış yüzey esas alınarak toplam transfer katsayısı

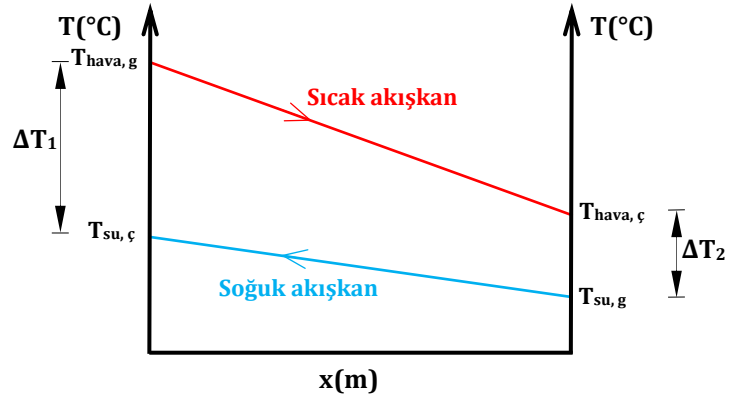
$$U = \frac{q}{(2\pi r_2 L) \Delta T_{lm}} \quad (10)$$

ifadesi ile hesaplanır.

#### Logaritmik ortalama sıcaklık farkı:

Sıcak ve soğuk akışkanlar arasındaki sıcaklık farkı, ısı transferinin gerçekleşmesini sağlayan sürücü kuvvettir. Bir ısı değiştiricisinde akış boyunca sıcaklık farkı değiştiğinden, ortalama sıcaklık farkının tanımlanması gerekmektedir,

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (11)$$



### 6.3 Toplam ısı transferi katsayısının AMPİRİK bağıntılar kullanılarak hesaplanması

Zorlanmış bir akışın karakteri (*türbülanslı veya laminar akış olduğu*), atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranını gösteren *Reynolds* sayısı ile tespit edilir,

$$Re_D = \rho \frac{VD_h}{\mu} \quad (12)$$

Akışkan ve ısı transfer yüzeyi arasındaki boyutsuz sıcaklık değişimi *Nusselt* sayısı ile tanımlanır,

$$Nu_D = \frac{hD_h}{k} \quad (13)$$

*Boru içi akışta*, *Nusselt* sayısını *Reynolds* sayısının bir fonksiyonu olarak veren çeşitli bağıntılar ilgili kaynaklarda verilmektedir [1]. Tam gelişmiş türbülanslı boru içi akış için *Dittus-Boelter* bağıntısı yaygın olarak kullanılmaktadır (*Pr*:Prandtl Sayısı, *Re*:*Reynolds* Sayısı),

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^{0.4} \quad (\text{Heating}) \quad (14.1)$$

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^{0.3} \quad (\text{Cooling}) \quad (14.2)$$

$$0.6 \leq Pr \leq 160$$

$$Re_D \geq 10.000 \quad (14.3)$$

$$\frac{L}{D_h} \geq 10$$

Bu bağıntı kullanılarak iç boru için ısı taşınım katsayısı,  $h_{iç}$ , hesaplanır. Daireden farklı olan kesitlerdeki akış, hidrolik çap esas alınarak değerlendirilir. İki boru arasındaki halkasal bölge için (*kovan*) hidrolik çap,

$$D_h = D_d - D_i \quad (15)$$

$D_h$ : Hidrolik çap, (m)

$D_d$ : Halka dış çapı,  $D_3$ , (m)

$D_i$ : Halka iç çapı,  $D_2$ , (m)

olarak tanımlanmıştır.

Boru dışı halkasal bölgeye ait ısı taşınım katsayısının,  $h_{dış}$ , belirlenmesinde *Reynolds* ve *Nusselt* sayılarının hidrolik çap esas alınarak tanımlanması gerekmektedir.

Akışkanlar arası aktarılan ısı miktarı ise ısı dirençler cinsinden yazılarak,

$$q = \frac{2\pi L \Delta T_{lm}}{\frac{1}{h_{iç} r_1} + \frac{1}{k_{çelik} \ln \frac{r_2}{r_1}} + \frac{1}{h_{dış} r_2}} \quad (16)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Buradan, iç boru dış yüzeyine göre tanımlanmış toplam ısı transfer katsayısı,

$$U_{toplam} = \frac{1}{\frac{r_2}{r_1 h_{iç}} + \frac{r_2}{k_{çelik} \ln \frac{r_2}{r_1}} + \frac{1}{h_{dış}}}$$

şeklinde elde edilir.

## 7. Deneyden İstenenler

1. Deney düzeneğini tüm ekipmanları gösterecek şekilde şematik olarak gösteriniz,
2. Hava ve su tarafı için *aktarılan/çekilen ısı miktarlarını* hesaplayınız,
3. Hesaplanan iki değer arasında fark varsa, farkın nedenlerini tartışınız,
4. İki akış arasındaki *logaritmik sıcaklık farkını* hesaplayınız ve hava tarafında olan ısı geçişini esas alarak, deneysel toplam ısı geçiş katsayısını hesaplayınız,
5. Akışkanların kütleli debileri ve termo-fiziksel özelliklerinden hareket ederek, her iki akış için *Reynolds* sayılarını hesaplayınız.
6. Uygun bağıntıları kullanarak *Nusselt* sayılarını ve her iki yüzeydeki *ısı taşınım katsayılarını* hesaplayınız.
7. Isı taşınım katsayılarını ve boru malzemesi ısı iletim katsayısını kullanarak *toplam ısı geçiş katsayısını* teorik olarak hesaplayınız ve akışın kullandığımız teorik bağıntının koşullarını (*Reynolds* sayısı, *Prandtl* sayısı ve  $L/D_h$  oranı) sağlayıp sağlamadığını kontrol ediniz. *Deneysel ve teorik* olarak hesapladığımız ısı geçiş katsayılarını karşılaştırınız. Olası farkın nedenlerini tartışınız.
8. Isı değiştiricisi için hesapladığımız ısı geçiş katsayısından hareketle mevcut sistemin uygulanabilirliğini tartışınız.

## 8. Kaynakça

- [1] Incropera, F. P., & DeWitt, P. D. (2002). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley and Sons.