

TAŞINIM VE IŞINIMLA BİRLEŞİK ISI TRANSFERİ DENEYİ

İÇİNDEKİLER	Sayfa
1. Genel Bilgiler	2
2. Deney Düzenegi	2
3. Teori	5
4. Analiz	8

1. GENEL BİLGİLER

Aralarında sonlu sıcaklık farkı olan katı bir yüzey ve bu yüzeyle temas halindeki hareketli akışkan arasında gerçekleşen ısı transferi taşınım ile ısı transferi olarak bilinir ve Newton'un soğuma kanunu ile tanımlanır. Newton'un soğuma kanununa göre, ısı akısının yüzeyle akışkan arasındaki sıcaklık farkına oranı ısı taşınım katsayısını verir. Taşınım ile ısı transferi mekanizmasındaki akışkan hareketi, fan, pompa ve benzeri kaynaklardan sağlanır (zorlanmış taşınım) veya sıcaklık farkının neden olduğu yoğunluk değişiminin etkisine bağlı olarak yerçekimine ters yönde gelişir (doğal taşınım).

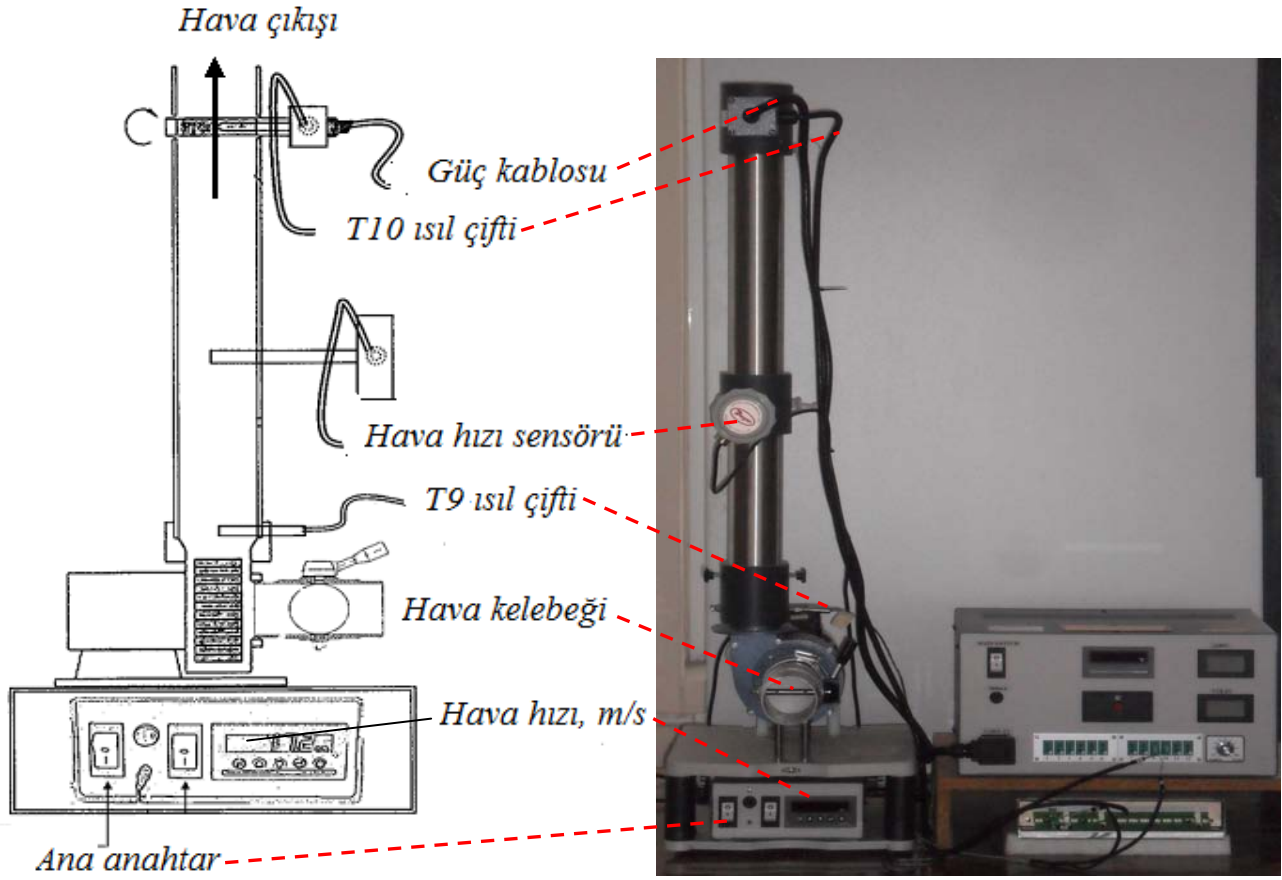
Diğer taraftan, sonlu sıcaklığa sahip olan her yüzey Stefan-Boltzmann yasasına göre birim yüzeyinden $\varepsilon\sigma T_y^4$ kadar ısı yayar. Yüzeyin gördüğü çevrenin yaydığı ısı da $\varepsilon\sigma T_c^4$ kadar ise yüzey ile çevre arasındaki ışınlama ile net ısı geçişi $\varepsilon\sigma(T_y^4 - T_c^4)$ kadar olur. Böylece, taşınım ile ısı transferi gerçekleşen yüzeylerden aynı zamanda ışınlama ile ısı transferi meydana gelir. Bir yüzeyden gerçekleşen toplam ısı transferi üzerine taşınım ve ışınlama ile ısı transferi mekanizmalarından *her birinin* ayrı ayrı etkisi değişik parametrelere bağlıdır. Bu parametreler, başta yüzey ve çevre sıcaklıkları ya da bunların farkı olmak üzere ısı taşınım katsayısı ve yüzey yama katsayısı olarak sıralanabilir. Bir yüzeyden gerçekleşen ısı transferinde diğer parametreler sabit kalsa bile sıcaklığın değişmesi ile taşınım ve ışınlama ile ısı transferine olan oransal katkısı da değişecektir.

Bilindiği gibi doğal taşınım ile zorlanmış taşınım karşılaştırıldığında, doğal taşınım ile ısı transferinde ısı taşınım katsayısı zorlanmış taşınımına göre daha düşük değerlerdedir. Bu durumda sıcaklık farklarına sahip yüzey ve ortam (çevre) arasında taşınım ile ısı transferinde, eğer taşınım doğal taşınım ise ışınlama ile ısı transferinin oransal etkisi daha fazladır.

2. DENEY DÜZENEGİ

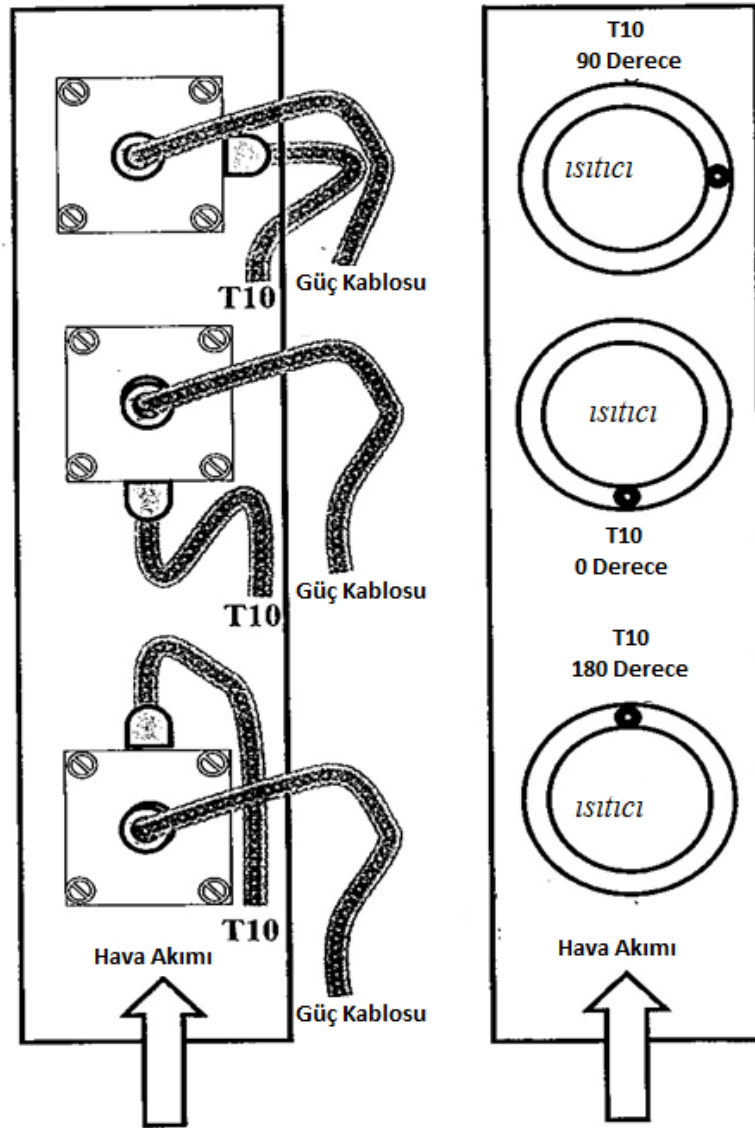
Taşınım ve ışınlama ile birleşik ısı transferi deney düzeneği şekilde görüldüğü gibi, tabanına santrifüj fan tespit edilmiş olan düşey bir boru ve buna bağlı elemanlardan oluşmaktadır. Borunun çıkışına yakın yerde, boru eksenine dik durumda bulunan ve elektrikle ısıtılan bir silindir mevcuttur. Düzenek, doğal taşınım ile ışınlama ve zorlanmış taşınımın incelenmesine olanak sağlar. Silindir, üzerinden kanal duvarına iletimle olan ısı kaybını minimize edecek şekilde sisteme monte edilmiştir ve böylece düzenekte ışınlama ve taşınım etkisinin birlikte

incelenmesi sağlanmış olur. Borunun orta kısmında hava hızının ölçülmesini sağlayan kızgın tel anemometresi mevcuttur. Deney düzeneği için şematik resim ve tipik kurulum fotoğrafı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1: Deney düzeneğinin şematik resmi ve tipik kurulum fotoğrafı

Silindir yüzeyine bir adet ısı çifti (T10) tespit edilmiştir. Isı transferi hesaplamalarında kullanılan sıcaklık ölçümlerini sağlar. Silindir düzeneği; silindir ve ısı çifti (T10) pozisyonu 180 derece dönmesini ve 26mm ‘lik kilit somunu ile istenilen herhangi bir pozisyonda bağlanmasını sağlar. Silindirin yüzeyi mat siyah, ısıya dayanıklı, 1.0’a yakın yayılım veren cila ile kaplanmıştır. Hava hızı emme kelebek vanası ile kontrol edilir. Doğal taşınım deneyleri yapılırken fan kapalı tutulur. Silindirdeki ısıtıcı yaklaşık 100 Watt güçte ve 240 Volt gerilimde çalışır. Silindirin sıcaklığı; maksimum voltaj ve durgun havada çalıştığında 600 C ‘ye ulaşır. Ancak önerilen maksimum sıcaklık 500 C’dir. Isıtıcı yüzey sıcaklığı (T10) ölçme konumları Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: Isıtıcı yüzey sıcaklığı ölçme konumları

Serbest akış hava sıcaklığı kanala monte edilmiş ısı çifti (T9) ile ölçülür.

Deney düzeneği ile ilgili büyüklükler:

Silindir çapı $D=0.01\text{m}$

Isıtılan silindir uzunluğu $L=0.07\text{m}$

Silindirin ısınan alanı $A_s=0.0022\text{m}^2$

Silindirdeki yerel etkili hava hızı nedeniyle blokaj etkisi $U_e=U_a \times 1.22$

Taşınım ve ışımla birleşik deney düzeneğinde aşağıdaki deneyler gerçekleştirilebilir:

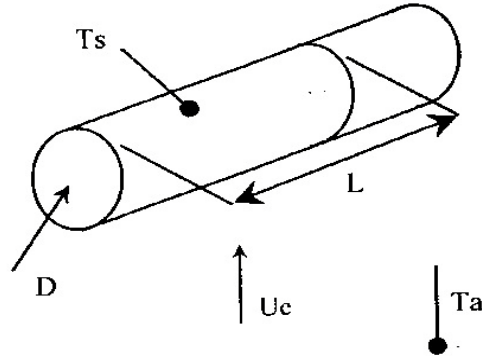
- 1- Geniş bir aralıktaki güç girişi ve buna karşılık gelen yüzey sıcaklığında doğal taşınımın yatay bir silindirden birleşik ısı transferinin belirlenmesi.
- 2- Düşük yüzey sıcaklıklarında taşınım ısı transfer katsayısı h_c ve yüksek yüzey sıcaklıklarında ışımla ısı transferi katsayısı h_r 'nin etkisinin ölçülmesi.
- 3- Zorlanmış taşınımın silindirden olan ısı transferine etkisinin belirlenmesi.
- 4- Silindir etrafında yerel ısı transferi katsayısının belirlenmesi.

Deney düzeneği ile ilgili dikkat edilecek hususlar:

- 1- Ana şalter kapalı pozisyonda (üç ışıkta kapalı olacak) arka paneldeki sigortanın açık pozisyonda olması sağlanmalıdır. **Unutmayın bunun normal çalışması için belirli aralıklarla yerel düzenlemelere göre bakım bölümünde açıklanan yöntem kullanılarak test edilmelidir.**
- 2- Minimum AC voltajını ayarlamak için voltaj kontrol anahtarını saat yönünün tersine çevirmek gerekir.
- 3- Ana şalter açıldığında gösterge ışıkları yanar. Dönen anahtar T10'u gösterecek şekilde çevrilir. Her deney için prosedürde belirtilen voltaj artışı için voltaj anahtarı saat yönünde çevrilir. **Unutmayın eğer doğal taşınım deneyi yapılacak ise silindir yüzey sıcaklığı T10'un 500 C'yi aşmasına izin verilmemesi tavsiye edilir.**
- 4- Eğer zorlanmış taşınım deneyi yapılacaksa, Ana şalter ve fan şalteri açılmalıdır. Deney prosedürlerinde tavsiye edilen hız değerlerinin okunması için fan keleşi ayarlanır. Kızgın tel anemometresindeki cevap için 15 sn beklenmelidir.
- 5- Deneysel işlem tamamlandığında ve iyi bir uygulama ile güç kapatıldığında AC voltajı sıfıra indirilir ve sıcak silindir soğuyana kadar kısa bir periyot için fan çalışmaya devam eder. Sonra ana şalter kapatılır.

3. TEORİ

Çapı D , ısıtılan uzunluğu L ve sıcaklığı T_s olan bir silindirin üzerini çevreleyen hava T_a sıcaklığında iken $T_s > T_a$ ise silindir yüzeyi ile temasta olan hava ısınmaya başlar. Bu nedenle havanın yoğunluğu azalır. Kaldırma kuvveti nedeniyle yukarı doğru bir akış meydana gelir. Böylece Hava herhangi bir dış etki olmaksızın silindirden yukarı doğru hava akışı gerçekleşecektir.



Şekil 3: Deney silindiri

Göreceli olarak düşük silindir sıcaklığında etkili olan mekanizma taşınım, yüksek sıcaklıklarda ise ışıdır. Işınım nedeniyle kaybolan miktar, silindir yüzeyinin sıcaklığına, yüzeyin yaymasına ve silindir çevresindeki ortam sıcaklığına bağlıdır.

Yukarıdaki basit analizlerden doğal taşınımla kaybolan ısı, Q_c tespit edilebilir.

$$Q_c = h_t A_s (T_s - T_a)$$

h_t : Doğal taşınım nedeniyle olan ısı taşınım katsayısı.

A_s : Silindir yüzey alanı

Benzer şekilde ısı merkezi bileşeni tespit edilebilir;

$$Q_r = h_r A_s (T_s - T_a)$$

h_r : Işınım ile ısı geçiş katsayısı.

Eğer genel ısı transfer katsayısı her durumda belirlenebilirse, silindirin toplam ısı transferi Q_{tot} belirlenebilir.

$$Q_{tot} = Q_r + Q_c$$

Işınım bileşeni için ısı geçiş katsayısı tespit edilebilir.

$$h_r = \varepsilon F \sigma \frac{(T_s^4 - T_a^4)}{(T_s - T_a)}$$

σ : Stefan-Boltzmann sabiti = $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

ε : Yüzeyin yayması (=0.95 alınacaktır)

F: Şekil faktörü (=1 alınacaktır)

$$h_c = \frac{(kNu)}{D}$$

k : Isı iletkenliği (W/mK)

D : Silindir çapı (m)

Nu : Nusselt sayısı

$$Nu = c(Ra)^n$$

Ra : Rayleigh Sayısı

c ve n: katsayılar

Hesaplanan Rayleigh Sayılarına bağlı aşağıdaki tablodan katsayılar tespit edilebilir.

Ra	c	n
$10^{-9} \text{ to } 10^{-2}$	0.675	0.058
$10^{-2} \text{ to } 10^2$	1.02	0.148
$10^2 \text{ to } 10^4$	0.850	0.188
$10^4 \text{ to } 10^7$	0.480	0.250
$10^7 \text{ to } 10^{12}$	0.125	0.333

Rayleigh Sayısı Ra , Grashof Sayısı G_r ve Prandtl Sayısı Pr dan belirlenebilir.

$$Ra = (Gr Pr) = \left[\frac{g\beta(T_s - T_a)D^3}{\nu^2} \right] \times Pr$$

g : yerçekimi ivmesi ($9.81 \text{ (m/s}^2)$)

β : hacimsel ısı genleşme katsayısı (1/K)

ν : kinematik viskozite (m^2/s)

İdeal gazlar için (hava burada ideal gaz olarak kabul edilebilir),

$$\beta = \frac{1}{T_{film}}, \quad T_{film} = \frac{(T_s + T_a)}{2}$$

T her durumda mutlak sıcaklıktır. ($T+273.15$).

Bu denklemdeki k , Pr ve ν parametreleri T_{film} sıcaklığında değerlendirilir.

Deney silindiri U_e hızındaki hava akışı içine yerleştirilirse ısı silindirden havaya zorlanmış taşınım ile transfer olacaktır. Silindirden olan toplam ısı transfer oranı hava hızına, silindirin yakınlardaki havanın türbülans derecesine, silindirin yüzey sıcaklığına ve silindir ve çevresinin yaymasına bağlı olacaktır. Silindirden aynı zamanda ışınım nedeniyle de ısı kaybı olacaktır. Eğer yüzey sıcaklığı T_s yeterince yüksek ise, ışınım bileşeni toplam ısı transferinin önemli bir bölümü haline gelebilir.

Zorlanmış taşınım Nusselt sayısı, $Nu = f(Re, Pr)$ şeklindedir ve Reynolds sayısı,

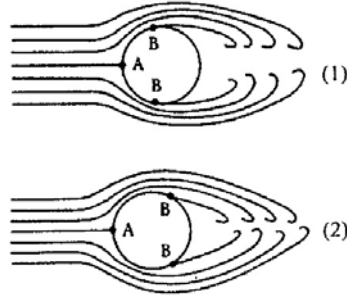
$$Re = \frac{U_e D}{\nu}$$

şeklinde D 'ye bağlı olarak tanımlanır. Buradaki U_e , efektif hava hızıdır.

Zorlanmış taşınım katsayısı (h_c) için çeşitli karmaşık ve boyutsuz denklemler vardır. Bunlar çeşitli silindir çaplarında ve çeşitli çalışma koşullarındaki hava hızı ve yüzey sıcaklığı için kapsamlı testler sonucunda elde edilir. Bulunan ısı transfer katsayısı geometrik şekil için boyutsuz analizlerden geliştirilen genel bir denklem vardır. Böyle bir denklem aşağıdaki gibidir;

$$Nu = 0.3 + \frac{(0.62Re^{0.5}Pr^{0.33})}{\left[1 + \left[\frac{0.4}{Pr}\right]^{0.66}\right]^{0.25}} \times \left[1 + \left[\frac{Re}{282000}\right]^{0.5}\right]$$

Silindir etrafındaki akım çizgileri Şekil 4'deki gibi temsil edilebilir.



Şekil 4: Silindir etrafındaki akım çizgileri

Şekil 4/1'de, silindire yaklaşan hava hızı düşüktür ve A noktası durma noktasıdır. Durma noktasının iki tarafında sınır tabaka oluşur. Akışın laminar olması durumunda sınır tabaka çerisinde karışma olmaz ve ısı transferi sadece iletimle gerçekleşir. B noktası yakınlarda sınır ayrılması gerçekleşir ve bu noktadan sonra türbülans gerçekleşerek ısı transferine artış olur.

Şekil 4/2'deki yüksek hızlı akışta sınır tabakada türbülans oluşabilir. Bu durumda yüzeye yakın hava ile serbest akım bölgesindeki hava karışarak ısı transferinin artmasına neden olabilir. Türbülanslı akıştaki B noktası daha ileri konumda gerçekleşir.

4. ANALİZ

Doğal taşınım ve ışıınım deneyi için ölçülen değerler tablosu

Örnek	V Volt	I Amper	T9 °C	T10 °C
1				
2				
3				
4				
5				

Doğal taşınım ve ışıınım deneyi için hesaplanan değerler tablosu

Örnek	Q_{input} W	h_r W/m^2K	h_t W/m^2K	Q_r W	Q_c W	Q_{tot} W
1						
2						
3						
4						
5						

Zorlanmış taşınım deneyi için ölçülen değerler tablosu

Örnek	V Volt	I Amper	Ua m/s	T9 °C	T10 °C
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

Zorlanmış taşınım deneyi için hesaplanan değerler tablosu

Örnek	Q_{input} W	Ue m/s	Pr	v m^2/s	k W/mK	Re	Nu
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

Örnek	h_f W/m^2K	Q_t W	h_r W/m^2K	Q_r W	Q_{tot} W
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

Silindir etrafındaki yerel ısı transferi için ölçülen (a) ve hesaplanan(b) değerler tablosu

Açı θ	V Volt	I Amper	U_a m/s	T9 °C	T10 °C
0					
90		3.51			
180					

(a)

Açı θ	Sıcaklık Farkı (T10 – T9) K
0	
30	
60	
90	
120	
150	
180	

(b)

Atmosferik basınçta havanın fiziksel özellikleri tablosu

T	V	k	Pr
K	m ² /s	W/mK	-
300	1.568E-05	0.02624	0.708
350	2.076E-05	0.03003	0.697
400	2.590E-05	0.03365	0.689
450	2.886E-05	0.03707	0.683
500	3.790E-05	0.04038	0.68
550	4.434E-05	0.0436	0.68
600	5.134E-05	0.04659	0.68

Veya ara değerler için,

$$v(m^2/s) = - 2.1392 \times 10^{-5} + (1.5591 \times 10^{-1} \times T) + (3.9513 \times 10^{-2} \times T^2) + (1.9904 \times 10^{-1} \times T^3) - (1.5734 \times 10^{-2} \times T^4) - (6.977 \times 10^{-1} \times T^5)$$

$$k (W/mK) = 0.00243 - (0.029071 \times T) + (0.77589 \times T^2) - (2.18 \times 10^{-11} \times T^3) + (0.808434 \times T^4) + (T^5)$$

$$Pr = 9.0675 \times 10^{-1} - (9.1294 \times 10^{-7} \times T) + (9.0532 \times 10^{-7} \times T^2)$$

bağıntılarından hesaplanabilir. Burada T hava sıcaklığı olup K birimindedir.

Deney raporunda istenenler:

1. Zorlanmış taşınımında farklı hava hızları için deneyleri gerçekleştirerek ölçülen ve hesaplanan değerler tablolarını oluşturunuz.
2. Hesaplanan değerler tablosunu kullanarak, aşağıda belirtilen üç adet grafiği çiziniz.
3. Deney sonuçlarını oluşturduğunuz grafikler üzerinden irdeleyiniz.

