



T.C.

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

DOĞAL VE ZORLANMIŞ TAŞINIM
DENEY FÖYÜ

1. DENEYİN AMACI

Bu deneyde, doğal ve zorlanmış taşınım hareketleri incelenerek, farklı hava hızlarının, farklı yüzey geometrilerinin taşınım ile olan ısı transferine olan etkisinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

2. DENEYİN ÖĞRENME ÇIKTILARI

Doğal ve zorlanmış taşınım mekanizmasının deneysel olarak incelenmesi, bir deney sisteminin yürütülmesi, deneysel verilerin amacı doğrultusunda analizi ve raporlanması

3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

Isı bir enerji çeşidi olup, yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan daha düşük sıcaklıktaki bir ortama kendiliğinden geçer. Bu geçiş üç farklı mekanizmayla olabilir.

Bu üç mekanizma;

1. İletimle Isı Transferi,

2. Taşınım ile Isı Transferi,

3. Işınım ile Isı Transferi şeklindedir.

Ayrıca pratikte bu mekanizmaların ikisinin ve üçünün birlikte olduğu ısı geçişleri de sıklıkla görülmektedir. Bu deneyde ise ısı taşınımını incelenecektir. Isı taşınım çeşitlerinden olan doğal ve zorlanmış taşınım, örnek bir düz plaka üzerinden karşılaştırmalı bir şekilde irdelenecektir. Ayrıca, kanatçıklı bir yüzeyden olan ısı taşınımını, kanatçık üzerinden farklı noktalardan sıcaklık ölçümü yapılarak görülecektir.

İki ortam arasında sıcaklık farkı olması, bu iki ortam arasında ısı transferi olmasına sebep olur. Bu ortamlardan en az biri akışkan ise oluşacak ısı transferi taşınım ile olacaktır. Taşınımın olabilmesi

için ortamın hareket etmesi şarttır. Gaz ve sıvılar akışkan maddeler olmasına rağmen eğer ısı transferi esnasında hareketsiz iseler burada görülecek ısı transferi mekanizması taşınım değil iletim olacaktır. Akışkanın hareketi dışarıdan bir fan, kompresör, pompa, v.b. ile cebri olarak sağlanabileceği gibi ısınan akışkanın yoğunluğu değişeceğinden, kaldırma kuvvetleri etkisi ile de olabilir. Hareketin dış etkilerle olması durumunda taşınım “Zorlanmış Taşınım”, yoğunluk farkından oluşması durumunda “Doğal Taşınım” olarak isimlendirilir.

Isı taşınımını Newton’un Soğuma Kanunu ile ifade edilir.

$$Q = h * A * (T_y - T_{\infty})$$

Bu denklemde;

Q : Taşınım ile transfer edilen ısı miktarı (W)

h : Isı taşınım katsayısı (W/m²°C)

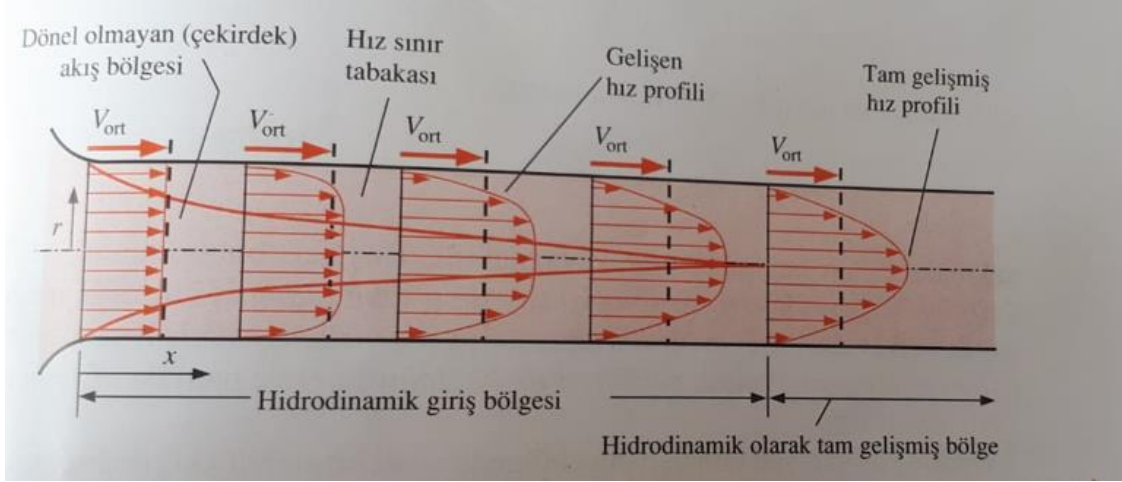
A : Isının transfer edildiği alan (m²)

T_y : Yüzey sıcaklığı (°C)

T_∞ : Akışkan sıcaklığı (°C)’ dir.

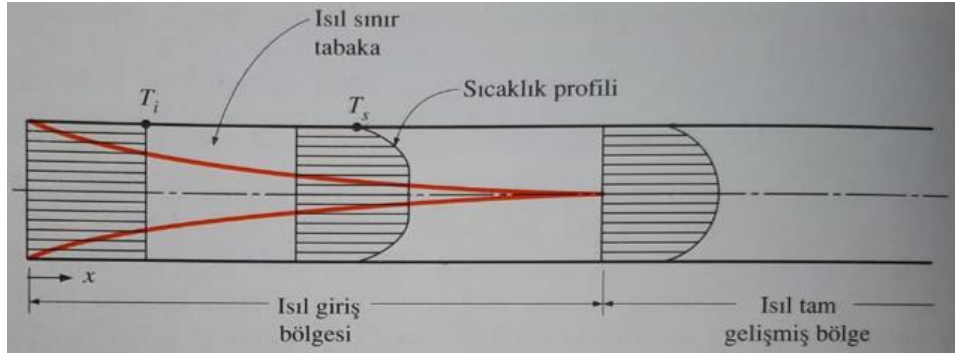
3.1. Zorlanmış taşınım

İçerisinde akışkan viskozitesinin doğurduğu viskoz kayma kuvvetlerinin etkilerinin duyulduğu akış bölgesi, **hız sınır tabakası** veya sadece **sınır tabaka** olarak adlandırılır. Borunun girişinden itibaren sınır tabakanın boru eksen çizgisiyle birleştiği noktaya kadar olan bölgeye hidrodinamik giriş bölgesi ve bu bölgenin uzunluğuna ise **hidrodinamik giriş uzunluğu** denir. Hız profiline geliştiği bölge olduğu için giriş bölgesindeki akış, **hidrodinamik gelişen akış** olarak adlandırılır. Giriş bölgesinin ilerisinde hız profiline tam olarak geliştiği ve değişmeden kaldığı bölge **hidrodinamik tam gelişmiş bölge** olarak adlandırılır.



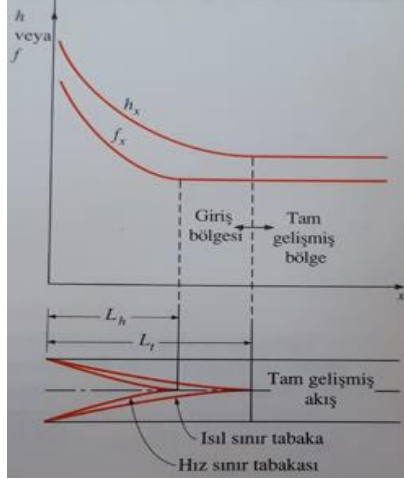
Şekil-1: Bir borudaki sınır tabakanın gelişimi

Üzerinde ısı sınır tabakanın geliştiği ve boru eksenine ulaştığı akış bölgesi **ısı giriş bölgesi** olarak adlandırılır ve bu bölgenin uzunluğu **ısı giriş uzunluğudur**. Sıcaklık profilinin geliştiği bölge olduğu için ısı giriş bölgesindeki akış, **ısı gelişen akış** olarak adlandırılır. Isı giriş bölgesinin ilerisinde, boyutsuz sıcaklık profilinin değişmeden kaldığı bölgeye **ısı tam gelişmiş bölge** denir. İçinde akışın hem hidrodinamik hem de ısı olarak gelişmiş olduğu ve dolayısıyla hız ve boyutsuz sıcaklık profillerinin değişmeden kaldığı bölge **tam gelişmiş akış** olarak adlandırılır.

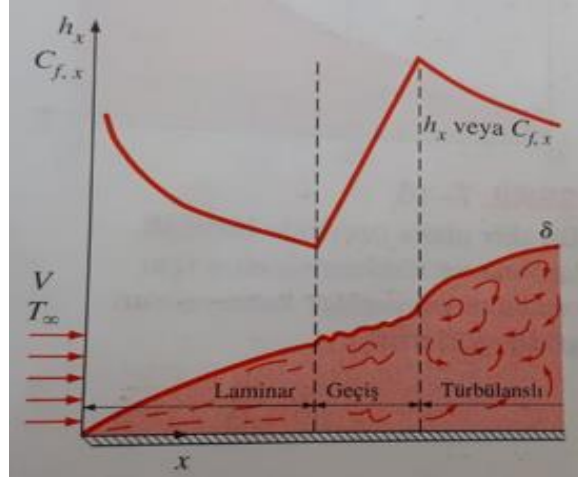


Şekil-2: Bir borudaki ısı tabakanın gelişmesi (Borudaki akışkan soğutulmaktadır)

Bir boru içindeki akışta ısı taşınım katsayısı ve sürtünme faktörünün boru boyunca değişimi Şekil-3a'da gösterilmektedir. Düzlem bir plaka üzerindeki akışta yerel sürtünme faktörü ve ısı taşınım katsayısının değişimi de Şekil-3b de görülmektedir.



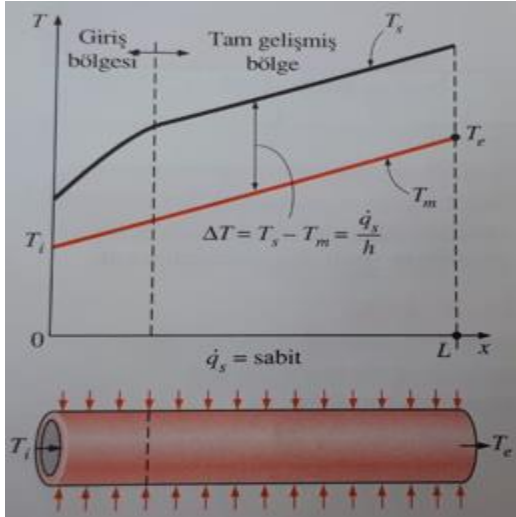
a)



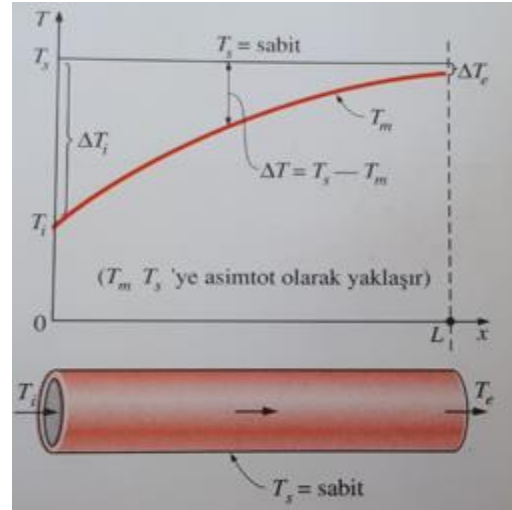
b)

Şekil-3: a) Bir boru içindeki akış için, akış yönünde sürtünme faktörü ve taşıma katsayısının değişimi ($Pr > 1$) b) Düzlem bir plaka üzerindeki akış için yerel sürtünme ve ısı transfer katsayılarının değişimi

Boru içi akışta sabit yüzey ısı akısı ve sabit yüzey sıcaklığında olması durumunda boru boyunca ortalama akışkan sıcaklığının değişimi Şekil-4'te gösterilmiştir.



a)



b)

Şekil-4: a) Sabit yüzey ısı akısı durumu için boru boyunca boru yüzeyi ve ortalama akışkan sıcaklıklarının değişimi b) Sabit sıcaklık durumu için boru boyunca ortalama akışkan sıcaklığının değişimi

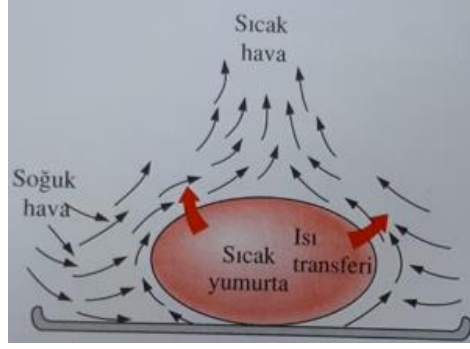
Dairesel boruda sabit ısı akısında tam gelişmiş laminar akışta $Nu=4.36$ sabit değerine eşittir. Reynolds ve Prandtl sayılarına bağlı değildir. Sabit yüzey sıcaklığı durumunda daireysel boruda tam gelişmiş laminar akışta da benzer bir durum söz konusudur. Sabit yüzey sıcaklığında ise $Nu=3.66$ değerine eşittir.

3.2.Doğal taşınımın fiziksel mekanizması

Bir plaka üzerindeki pişmiş sıcak yumurtanın (veya fırınlanmış sıcak bir patatesin) en sonunda çevre havası sıcaklığına kadar soğuduğu bilinmektedir. Yumurta havaya taşınım ve çevre yüzeylere ışınlama ile ısı transferi ederek soğur. Işınlama ile ısı transferi ihmal edilerek, sıcak bir yumurtanın soğuk bir ortamda soğumasının fiziksel mekanizması ise şu şekilde açıklanabilir:

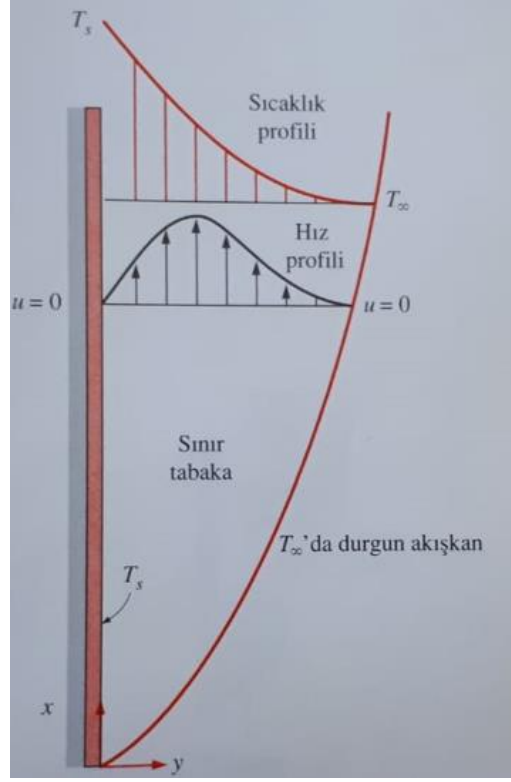
Sıcak yumurta soğuk hava etkisinde kalır kalmaz yumurta kabuğunu dış yüzey sıcaklığı bir miktar düşer ve kabuktan havaya olan ısı transferi sebebiyle kabuğun bitişiğindeki havanın sıcaklığı yükselir. Sonuç olarak yumurta daha sıcak ince bir hava tabakasıyla çevrilir ve daha sonra ısı bu tabakadan havanın diğer dış tabakalarına transfer edilir. Yumurta hep sıcak havayla örtüldüğü ve daha uzaktaki soğuk hava ile doğrudan temas etmediği için bu durumda soğutma işlemi oldukça yavaştır. Yumurtanın yakınındaki herhangi bir hava hareketi fark edilmeyebilir, fakat dikkatli ölçümler bunun aksini göstermektedir.

Sabit basınçta bir gazın özgül kütlesi sıcaklıkla ters orantılı olduğu için yumurtanın bitişiğindeki havanın sıcaklığı daha yüksek ve dolayısıyla özgül kütlesi daha düşüktür. Böylece etrafı özgül kütlesi büyük bir gaz tarafından çevrili düşük özgül kütleli bir miktar gazı olduğu bir durum söz konusudur ve burada hafif gazın yükselmesi söz konusudur. Yani ısınan hava yükselmektedir. Yumurtanın çevresindeki sıcak havanın boşalttığı yeri yakınındaki soğuk hava doldurur, yumurtanın bitişiğindeki soğuk hava ise soğutma işlemi hızlandırmaktadır. Sıcak havanın yükselmesi ve soğuk hava akışının onun yerini alması, yumurtanın ortam hava sıcaklığına düşmesine kadar devam eder. Yumurtanın bitişiğinde ısınan havanın, yakınındaki daha soğuk hava ile sürekli yer değiştirmesi sonucu meydana gelen harekete **doğal taşınım akımı**, bu doğal taşınım akımı sonucunda artan ısı transferine de **doğal taşınım ısı transferi** denilmektedir.



Şekil-5: Soğuk bir ortamda pişmiş bir yumurtanın doğal taşınımıyla soğutulması

Şekil-6'da düşey bir sıcak plaka üzerindeki doğal taşınımında hız ve sıcaklık profilleri verilmiştir. Burada, sınır tabaka kalınlığı, zorlanmış taşınımında olduğu gibi akış yönünde artmaktadır. Ancak zorlanmış taşınımından farklı olarak akışkan hızı, plaka yüzeyinde olduğu gibi hız sınır tabakanın dışında da sıfırdır. Akışkan sınır tabakanın ötesinde hareketsiz olduğundan bu beklenen bir durumdur. Dolayısıyla akışkan hızı yüzeyden uzaklaştıkça bir maksimuma ulaşır ve yüzeyden yeteri kadar uzaklıkta sıfıra kadar yavaş yavaş azalır. Yüzeyde akışkan sıcaklığı plaka sıcaklığına eşittir; Şekil-6'da görüldüğü gibi yüzeyden yeterince uzakta çevre akışkan sıcaklığına kadar yavaş yavaş azalır. Soğuk yüzeyler durumunda, hız ve sıcaklık profillerinin şekli aynı kalır, fakat yönleri ters olur.



Şekil-6: T_{∞} sıcaklığında bir akışkan içine yerleştirilmiş T_s sıcaklığında sıcak bir düşey plaka üzerinde doğal taşınım akışı için tipik hız ve sıcaklık profilleri

3.2.1. Grashof sayısı

Zorlanmış taşınımında akış rejimini akışkan üzerine etki eden atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı olan boyutsuz Reynolds sayısı belirlemektedir. Doğal taşınımında ise akış rejimi, akışkan üzerine etkileyen kaldırma kuvvetinin viskoz kuvvete oranı olan Grashof sayısı ile belirlenmektedir.

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_{\infty})L_c^3}{\nu^2}$$

g =yerçekimi ivmesi (m/s^2)

β = hacimsel genleşme katsayısı ($1/K$)

T_s = yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$)

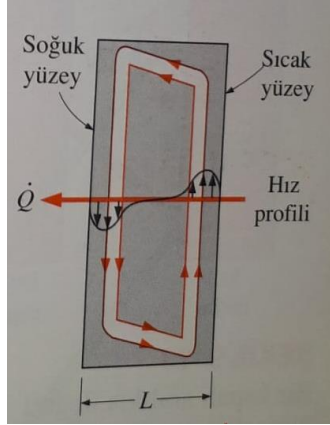
T_{∞} = yüzeyden yeterince uzakta akışkan sıcaklığı ($^{\circ}C$)

L_c = geometrinin karakteristik uzunluğu (m)

ν = akışkan kinematik viskozitesi (m^2/s)

3.2.2. Kapalı aralıkta doğal taşınım

Kapalı aralıklara uygulamalarda sık rastlanmaktadır ve bunlardaki ısı transferi uygulamanın ilgi alanına girer. Akışkan genellikle durgun kalmadığı için kapalı alanlarda ısı transferi karmaşıktır. Düşey bir kapalı aralıkta sıcak yüzeye bitişik akışkan yükselip soğuk yüzeye bitişik akışkan alçalarak ısı transferini artıran bir dönme hareketini başlatmaktadır. Düşey bir dikdörtgen kapalı aralıkta tipik akış örnekleri Şekil-7'de gösterilmektedir.



Şekil-7: Düşey bir dikdörtgen kapalı aralıkta taşınım akımları

Yatay bir kapalı aralıktaki ısı transferi karakteristikleri, Şekil-8'de görüldüğü gibi sıcak planın üstte mi yoksa altta mı olduğuna bağlıdır. Sıcak plaka üstte olduğu zaman daha hafif akışkan daha ağır akışkanın üzerinde olacağı için kapalı aralıkta taşınım akımları oluşmaz. Bu durumda ısı transferi salt iletimle olur ve $Nu=1$ 'dir. Sıcak plaka altta olduğu zaman ağır akışkan daha hafif akışkanın üstünde olacaktır ve hafif akışkan daha ağır akışkanı iterek üste çıkmaya çalışır, yukarıda soğuk plakaya temas ederek soğur. Ancak bu durum gerçekleşinceye kadar ısı transferi salt iletimle olmaktadır. Kaldırma kuvveti akışkan direncini yenmeye başladığında doğal taşınım akımları başlamaktadır.

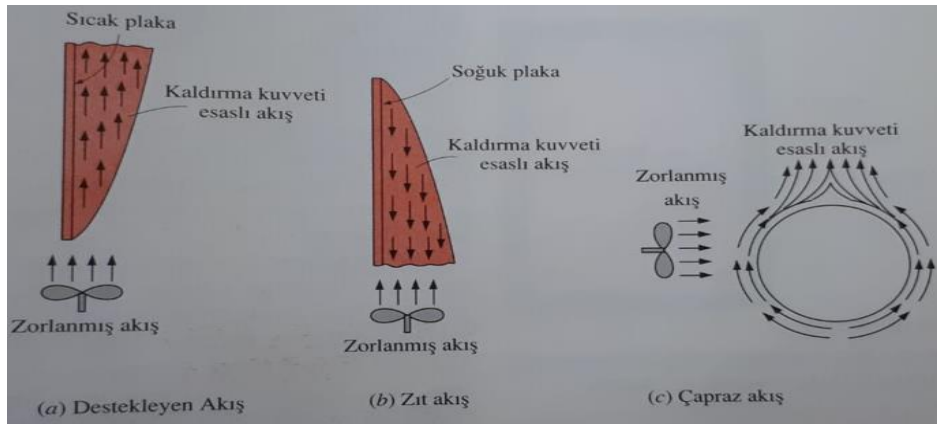


Şekil-8: Yatay bir kapalı aralıkta (a) sıcak plaka üstte ve (b) sıcak plaka altta olma durumundaki taşınım akımları

3.2.3. Birleşik doğal ve zorlanmış taşınım

Düşey bir plakada birleşik doğal ve zorlanmış taşınım için $Gr/Re^2 < 0.1$ olduğunda doğal taşınım ihmal edilebilmektedir. $Gr/Re^2 > 10$ olduğunda zorlanmış taşınım ihmal edilebilmektedir. $0.1 < Gr/Re^2 < 10$ olduğunda ise hiç biri ihmal edilememektedir. Bu sebeple Gr ve Re^2 aynı mertebelerde olduğunda (biri diğerinin 10 katına kadar bir aralıkta) ısı transferi hesaplamalarında doğal ve zorlanmış taşınımın her ikisi de dikkate alınmalıdır.

Doğal taşınım, kaldırma kuvveti ve zorlanmış taşınım hareketlerinin birbirlerine göre yönlerine bağlı olarak zorlanmış taşınım ısı transferini destekleyebilir veya bozabilir. Buna ait örnek Şekil-9'da gösterilmiştir.



Şekil-9: Doğal taşınım, kaldırma kuvvetinin başlattığı hareketin ve zorlanmış taşınım hareketinin birbirlerine göre yönlerine bağlı olarak ısı transferini artırabilir veya engelleyebilir.

- **Destekleyen akışta** kaldırma hareketi zorlanmış hareket ile aynı yöndedir. Dolayısıyla doğal taşınım zorlanmış taşınımı destekler ve ısı transferini artırır. Sıcak bir yüzeyde yukarı doğru zorlanmış akış buna örnektir.
- **Zıt akışta** kaldırma hareketi zorlanmış akış ile zıt yöndedir. Bu sebeple, doğal taşınım zorlanmış taşınımına direnç gösterir ve ısı transferini azaltır. Soğuk bir yüzeyde yukarı doğru zorlanmış akış buna bir örnektir.
- **Çapraz akışta** kaldırma hareketi zorlanmış akışa diktir. Bu yüzden, çapraz akış akışkan karışmasını artırır ve dolayısıyla ısı transferini artırır. Sıcak ve soğuk bir silindir veya küre üzerindeki yatay zorlanmış akış buna bir örnektir.

4. DENEYİN YAPILIŞI

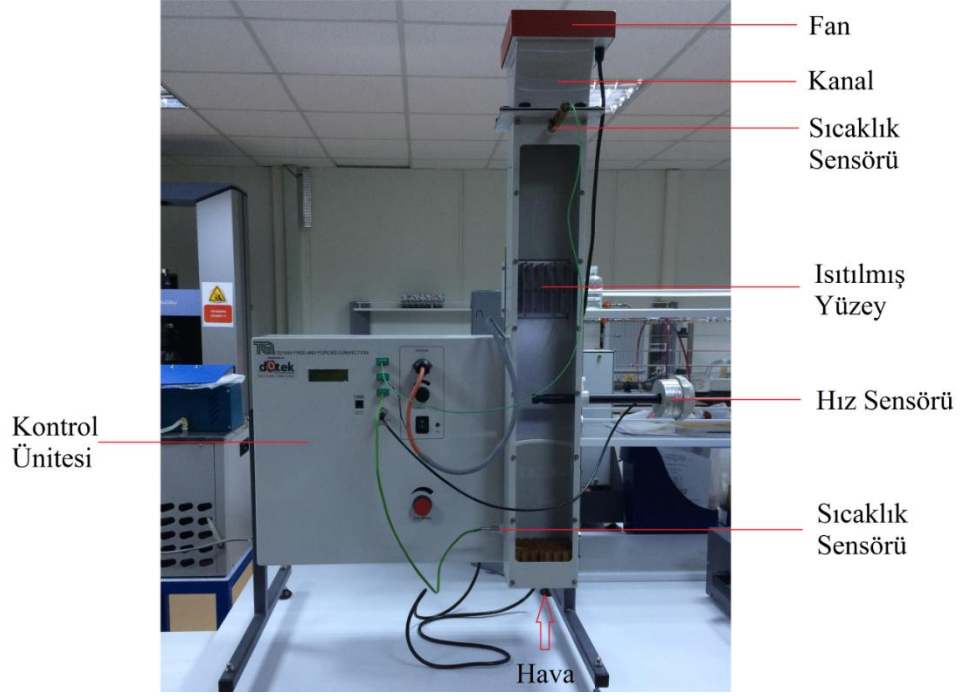
Doğal ve zorlanmış taşınım deney düzeneği, dikdörtgen kesitli dikey bir kanal, güç kontrol ünitesi, kanal içerisine yerleştirilmiş bir fan, kanal içerisine yerleştirilebilen farklı tipteki yüzeyler, sıcaklık sensörleri ve hızölçerden oluşmaktadır.

Kontrol ünitesi sayesinde hedef yüzeylere verilen ısı gücü ayarlanabilmektedir. Aynı şekilde fan tamamen kapatılabilmekte veya değişik devirlerde dönüşü sağlanarak kanal içerisinde değişik hız değerleri elde edilebilmektedir. Ayrıca kanal içerisine farklı geometrilere sahip yüzeyler monte edilebilmekte, bu yüzeylere verilecek ısı gücü ile kanal havasından daha yüksek bir sıcaklığa ulaşmaları sağlanabilmektedir. Bu sıcaklık farkı yüzey ile hava arasında taşınım ile ısı transferine sebebiyet vermektedir.

Deney tesisatı ile,

1. Doğal ve Zorlanmış taşınım durumları,
2. Farklı hava hızlarının taşınımına etkisi,
3. Farklı yüzey geometrilerinin taşınımına etkisi,
4. Farklı ısı yüklerinin taşınımına etkisi,

durumları incelenebilmektedir.



Şekil-10: Deney Tesisatı

4.1. Deney-1

- Düzlem plaka şeklindeki ısıtıcı kanala yerleştirilir.
- İstenilen miktarda ısıl güç kontrol ünitesi üzerinden ayarlanır.
- Sistemin sürekli rejime oturması beklenir.
- Plaka yüzey sıcaklığı ölçülür.
- Kanal içerisindeki hava sıcaklığı ölçülür.
- Fan kanal içerisinde 2 m/s ve 3 m/s hava hızları elde edilecek şekilde çalıştırılarak, yukarıdaki işlemler tekrarlanır.

Not: Kare düz plakanın kenar uzunluğu 106 mm'dir.

Tablo-1: Deney 1 için ölçülecek ve hesaplanacak değerler

	Hava Hızı V (m/s)	Yüzey Sıcaklığı T _y (°C)	Akışkan Sıcaklığı T _∞ (°C)	Sıcaklık Farkı T _y - T _∞ (°C)	Isıtıcı Gücü (W)	Isıtıcı Yüzey Alanı (m ²)	Isı Taşınım Katsayısı (W/m ² °C)
Doğal Taşınım							
Zorlanmış Taşınım							

4.2. Deney-2

- Kanatlı ısıtıcı kanal içerisine yerleştirilir.
- Isıtıcı gücü istenilen değere ayarlanır.
- Sistemin sürekli rejim haline ulaşması beklenir.
- Kanal içerisindeki hava sıcaklığı kaydedilir.
- Sırasıyla kanat dibinden ucuna doğru sıcaklıklar ölçülür.
- Yukarıdaki işlemler, fan çalıştırılarak 1.5 m/s, 2 m/s, 2.5 m/s ve 3 m/s hava hızları için tekrarlanır.

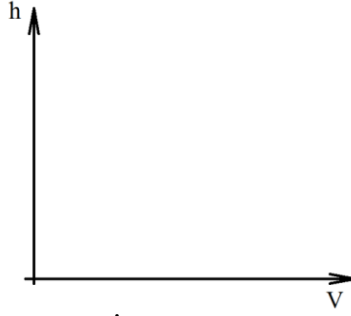
Tablo-2: Deney 2 için ölçülecek değerler

Hava Hızı (m/s)	Sıcaklıklar						
	T _y (x=0)	T ₁ (x=7.5mm)	T ₂ (x=19.5mm)	T ₃ (x=31.5mm)	T ₄ (x=43.5mm)	T ₅ (x=55.5mm)	T ₆ (x=67.5mm)
0							
1.5							
2							
2.5							
3							
Isıl Güç (W)							
Hava Sıcaklığı (°C)							

5. RAPOR İÇİN İSTENENLER

Deney-1 için istenenler;

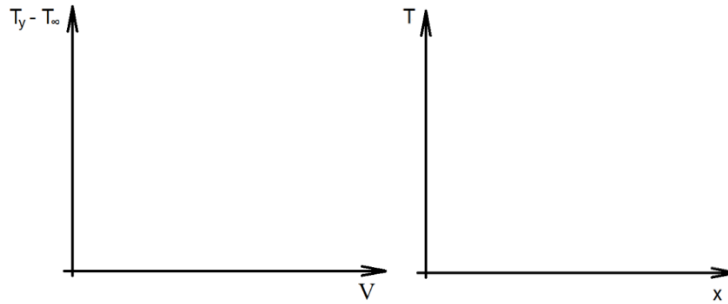
- Doğal taşınım halinde ısı taşınım katsayısı bulunacak.
- Zorlanmış taşınım halinde (2 m/s ve 3 m/s) ısı taşınım katsayıları tespit edilecek.
- Hız ile ısı taşınım katsayısının değişim grafiği çizilecek.
- Sonuçlar yorumlanacak.



Şeki-11: İstenilen h-V grafiği

Deney-2 için istenenler;

- Sıcaklık farkı ($T_y - T_\infty$) – Hız (V) grafiği çizilecek.
- Yüzey sıcaklığı (T) – Plaka tabanından uzaklık (x) grafiği çizilecek.(Her hız için aynı grafiğe çizim yapılacak.)
- Sonuçlar yorumlanacak.



Şekil-12: Deney 2 için istenilen grafikler

- Dış yüzeyinden sabit ısı akısı uygulanan dairesel boru içerisinde ısı transfer akışkanı geçmektedir. **Tam gelişmiş bölgede** sıcaklık farkının (boru yüzey sıcaklığı ile akışkanın boruya giriş-çıkış ortalama sıcaklığı arasındaki fark) (ΔT) nasıl değişim göstereceğini (*artma, azalma, sabit*) **matematiksel ifadeleri** kullanarak ispat ediniz ve yorumlayınız.

6. KAYNAKLAR

1. Çengel, Y. A. (2011). *Isı ve Kütle Transferi - Pratik Bir Yaklaşım*, İzmir Güven Kitabevi (Vedat Tanyıldızı: Çeviri Editörü)
2. TecQuipment, TD1005 Free and Force Convection User Guide.