



**DESTEKLEYEN VE KARŞIT AKIŞ DURUMLARINDA
HAVANIN KARMA TAŞINIMLA ISI TRANSFERİ VE AKIŞ
KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

Melek ÇALIŞKAN
Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Bayram ŞAHİN

2019
Her hakkı saklıdır.



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DESTEKLEYEN VE KARŞIT AKIŞ DURUMLARINDA HAVANIN KARMA
TAŞINIMLA ISI TRANSFERİ VE AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Melek ÇALIŞKAN

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bayram ŞAHİN

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Erzurum

2019

Her hakkı saklıdır

T.C.
ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ ONAY FORMU

**DESTEKLEYEN VE KARŞIT AKIŞ DURUMLARINDA HAVANIN KARMA
TAŞINIMLA ISI TRANSFERİ VE AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Prof. Dr. Bayram ŞAHİN danışmanlığında, Melek ÇALIŞKAN tarafından hazırlanan bu çalışma 16 / 07 / 2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **Oy birliği ile (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Kenan YAKUT *İmza* :

Üye : Prof. Dr. Bayram ŞAHİN *İmza* :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Eda Feyza AKYÜREK *İmza* :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Doç. Dr. Arzu GÖRMEZ
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması tarafından nolu proje ile desteklenmiştir.

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

16 / 07 / 2019

Melek ÇALIŞKAN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DESTEKLEYEN VE KARŞIT AKIŞ DURUMLARINDA HAVANIN KARMA TAŞINIMLA ISI TRANSFERİ VE AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Melek ÇALIŞKAN

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bayram ŞAHİN

Bu çalışmada, dikdörtgen kesitli bir kanalda, destekleyen ve karşıt akış durumları için havanın karma taşınım ile ısı transferi ve akış karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. 60 mm genişliğinde ve 150 mm uzunluğunda düz bir plaka yerleştirilmiş dikdörtgen bir kanal içerisinde ısı transferi ve parçacık görüntülemeli hız ölçüm deneyleri gerçekleştirilmiştir. Hava kanalı 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225° ve 270° derece açılarla konumlandırılmıştır. Deneyler sabit ısı akısı sınır şartlarında yapılmış ve kanal emme modunda çalıştırılmıştır. Isı transferi ve akış ölçüm deneylerinin eş zamanlı olarak gerçekleştirildiği çalışmada Reynolds sayısı 150 ile 550 aralığında tutulmuş. Üç farklı yerleşim açısında, parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği (PIV) kullanılarak hız dağılımları elde edilmiştir. En yüksek ısı transferinin doğal taşınımın zorlanmış taşınımı desteklediği 90°'lik açıda meydana geldiği, en düşük ısı transferinin ise tersi durum olan 270°'lik konumda meydana geldiği görülmüştür. 90°'lik konumda ısı transferinde %10'luk bir artış gözlenirken 270°'lik konumda ısı transferinde %6 oranında azalma görülmüştür.

2019, 80 sayfa

Anahtar Kelimeler: Karma Taşınım, Isı Transferi, PIV (Parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği)

ABSTRACT

MS. Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MIXED CONVECTION HEAT TRANSFER AND FLOW CHARACTERISTICS OF AIR FOR AIDING AND OPPOSING FLOW CONDITIONS IN A RECTANGULAR CHANNEL

Melek ÇALIŞKAN

Erzurum Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Bayram ŞAHİN

In this study, mixed convection heat transfer and flow characteristics of air for aiding and opposing flow conditions in a rectangular channel are investigated experimentally. Heat transfer and particle image velocimetry (PIV) experiments have been performed in a rectangular channel placed on a flat plate with a width of 60 mm and a length of 150 mm. The air duct is positioned at 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225° ve 270° degrees. Experiments have been carried out under constant heat flux boundary condition, and the duct has been operated in the suction mode. In the study in which heat transfer and flow field experiments are carried out simultaneously Reynolds number has been kept in the range of 150 to 550. Velocity distributions are obtained by using particle image velocimetry (PIV) technique at three different placement angles. It has been observed that heat transfer occurs at an angle of 90° where natural convection supports forced convection, while the lowest heat transfer occurs at 270°, which is the opposite. There is a %10 increase in heat transfer at 90° and a decrease of %6 at 270°.

2019, 80 pages

Keywords: Mixed Convection, Heat Transfer, PIV (Particle Image Velocimetry)

TEŞEKKÜR

Çalışma sürecimde desteğini esirgemeyen benimle bilgi ve tecrübelerini paylaőan ve yapıcı eleőtirilerde bulunan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Bayram ŞAHİN'e teşekkür ederim. Tez çalıőmasının her aşamasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Eyüphan MANAY'a teşekkür ederim.

Tez çalıőmam boyunca destek ve yardımlarını gördüğüm Öğr. Gör. Emre MANDEV'e ve aynı dönem öğrenim gördüğüm Makine Mühendisi Resul Önder TEMİZ'e teőekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında bana maddi ve manevi destek olan, sevgi ve alakasını eksik etmeyen kıymetli aileme teşekkür ederim.

Melek ÇALIŞKAN

Temmuz 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1.GİRİŞ	1
1.1. Isı Transferi	2
1.1.1. İletim (Kondüksiyon).....	3
1.1.2. Taşınım (Konveksiyon).....	4
1.1.3. Işınım (Radyasyon).....	6
1.1.4. Hidrodinamik (hız) tabaka	8
1.1.5. Isıl sınır tabaka	9
1.1.6. Sınır tabaka ayrılmaları	11
1.1.7. Sınır tabakaların önemi	12
1.1.8. Laminer ve türbülanslı akış.....	12
1.2. Isı transferi artıma yöntemleri.....	14
1.3. PIV Yöntemi	15
1.3.1. Parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniğinin çalışma prensibi	16
2.KAYNAK ÖZETLERİ	18
2.1 Karma Taşınım.....	18
2.2. PIV Yöntemi parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği	23
2.3. Dikdörtgen Kesitli Kanallarda Isı Transferi ve Akış Karakteristiği İnceleme.....	29
3.MATERYAL ve YÖNTEM	34
3.1. Deneyde Kullanılan Materyaller	37
3.1.1 Hava kanalı.....	37

3.1.2. Fan.....	37
3.1.3 Çok fonksiyonlu ölçüm cihazı	38
3.1.4. Plaka.....	39
3.1.5. Isıl çiftler	39
3.1.6. Veri okuma kartı	40
3.1.7. Güç kaynağı	41
3.1.8. Test bölgesi	41
3.2. Parçacık görüntülemeli hız ölçümü (PIV) yöntemi ve elemanları.....	42
3.2.1. Sis Jeneratörü ve sis sıvısı.....	45
3.2.2. Sis probu sistemi	45
3.2.3. Lazer.....	46
3.2.4. Işık plakası optiği	46
3.2.5. Senkronizör	47
3.2.6. Kamera	48
3.2.7. Dinamik studio ara yüzü	48
3.3. Hesaplamalar ve Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi.....	49
3.3.1. Isı transferi eşitlikleri	49
3.3.2. Belirsizlik analizi	52
4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	54
4.1. Isı Transferi Sonuçları ve Karşılaştırılması	54
4.2. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği Sonuçları	65
5.SONUÇ ve ÖNERİLER.....	72
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ.....	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Isı transferi mekanizmaları	2
Şekil 1.2. Isı iletimini ve yönünü gösteren görsel	3
Şekil 1.3. Akışkanın hareketinin etkisiyle meydana gelen taşınım ile ısı transferi.....	4
Şekil 1.4. Doğal Taşınım.....	5
Şekil 1.5. Sabit sıcaklıktaki düz bir levha üzerinde akış için hız sınır tabaka kalınlığının ve yerel ısı transferi katsayısının değişimi	8
Şekil 1.6. Dairesel bir boruda hidrodinamik sınır tabaka gelişimi.....	9
Şekil 1.7. Düzlem levha üzerinde hız sınır tabaka gelişimi	9
Şekil 1.8. Isıtılmış dairese kesitli bir boruda ısı sınır tabaka gelişimi	10
Şekil 1.9. Sabit sıcaklıktaki düz bir levha üzerinde ısı sınır tabakanın gelişimi.....	11
Şekil 1.10. Basınç gradyanının sınır tabaka profillerine etkisi	11
Şekil 1.11. Düz bir levha üzerinde hız sınır tabaka gelişimi.....	13
Şekil 1.12. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği (PIV)	16
Şekil 3.1. Deney düzeneği.....	34
Şekil 3.2. Deney Düzeneği Şematiği.....	35
Şekil 3.3. Kanallın açılar ile konumlandırılması.....	36
Şekil 3.4. Hava kanlı kesit görünüş.....	37
Şekil 3.5. Fan	38
Şekil 3.6. Çok fonksiyonlu ölçüm cihazı	39
Şekil 3.7. Plaka.....	39
Şekil 3.8. Isıl çiftler	40
Şekil 3.9. Veri okuma kartı	40
Şekil 3.10. Güç kaynağı	41
Şekil 3.11. Test bölgesi	42
Şekil 3.12. Test bölgesine konumlandırılmış CCD kamera ve Nd:YAG lazer.....	43
Şekil 3.13. Sis jeneratörü ve sis sıvısı	45
Şekil 3.14. Sis probu	46
Şekil 3.15. Yüksek güçlü Nd:YAG lazer	46
Şekil 3.16. Işık plakası optiği	47
Şekil 3.17. Senkronizör	48
Şekil 3.18. CCD Kamera.....	48
Şekil 4.1. 0° Kanal eğim açısında modeller ile deney sonuçları ilişkisi.....	55
Şekil 4.2. 45° Kanal eğim açısında modeller ile deney sonuçları ilişkisi	56

Şekil 4.3. 90° Kanal eğim açısında modeller ile deney sonuçları ilişkisi	56
Şekil 4.4. 135° Kanal eğim açısında modeller ile deney sonuçları ilişkisi	57
Şekil 4.5. 180° Kanal eğim açısında modeller ile deney sonuçları ilişkisi	57
Şekil 4.6. 225° Kanal eğim açısında modeller ile deney sonuçları ilişkisi	58
Şekil 4.7. 270° Kanal eğim açısında modeller ile deney sonuçları ilişkisi	58
Şekil 4.8. Tüm açılarda Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki	59
Şekil 4.9. Tüm açılarda T_s (yüzey sıcaklığı) ile \dot{m} (kütleli debi) ilişkisi.....	60
Şekil 4.10. Tüm açılarda $T_{çıkış}$ ile \dot{m} (kütleli debi) ilişkisi.....	61
Şekil 4.11. Tüm açılarda taşınım katsayısı ‘ h ’ ile T_s ilişkisi	62
Şekil 4.12. Tüm açılarda Nusselt sayısı ile Richardson sayısı ilişkisi	63
Şekil 4.13. Tüm açılarda h (taşınım katsayısı) ile Richardson sayısı ilişkisi.....	63
Şekil 4.14. Tüm açılarda Nusselt sayısı ile Grashof sayısı ilişkisi	64
Şekil 4.15. 0° için test bölgesi girişinde ($x/L=0$) hız dağılımı	66
Şekil 4.16. 0° için test bölgesi ortasında ($x/L=0,5$) hız dağılımı.....	66
Şekil 4.17. 0° için test bölgesi sonunda ($x/L=1$) hız dağılımı	67
Şekil 4.18. 90° için test bölgesi girişinde ($y/L=0$) hız dağılımı	67
Şekil 4.19. 90° için test bölgesi ortasında($y/L=0,5$) hız dağılımı.....	68
Şekil 4.20. 90° için test bölgesi sonunda ($y/L=1$) hız dağılımı	68
Şekil 4.21. 270° için test bölgesi girişinde ($y/L=0$) hız dağılımı	69
Şekil 4.22. 270° için test bölgesi ortasında ($y/L=0,5$) hız dağılımı.....	70
Şekil 4.23. 270° için test bölgesi sonunda ($y/L=1$) hız dağılımı	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Isı transferini arttırmaya yönelik aktif ve pasif yöntemler.....	15
Çizelge 2.1. Karma taşınımına ilişkin çalışmalar tablosu (Mandev 2017)	22
Çizelge 2.2. PIV yöntemi kullanılan incelenmiş çalışmalar	31
Çizelge 3.1. Belirsizlik analizi sonuç değerleri.....	53



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Acıklama</u>
A	Isı transferi yüzey alanı (m ²)
D	Çap (m)
g	Yerçekimi ivmesi (m/s ²)
h	Isı taşınım katsayısı (W/m ² K)
I	Akım (A)
k	Isıl iletkenlik katsayısı (W/mK)
T	Sıcaklık(C°)
U	Ortalama hız (m/s)
V	Gerilim (V)
Q	Isı Transferi (W)
μ	Dinamik viskozite (kg/m.s)
λ	Ortalama serbest yol (m)
°	Derece
ν	Kinematik viskozite (m ² /s)
β	Hacimsel genleşme katsayısı (1/K)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
σ	Stepfan-Boltzmann sabiti(W/m ² K ⁴)

Kısaltmalar**Açıklama**

Gr	Grashof sayısı
Nu	Nusselt sayısı
PIV	Particle Image Velocymetry
Ra	Rayleigh sayısı
Re	Reynolds sayısı
Ri	Richardson sayısı

Alt İndisler**Açıklama**

∞	Ortam
ç	Çıkış
eff	Efektif
f	Zorlanmış
g	Giriş
h	Hidrolik
L	Lokal
ort	Ortalama
s	Yüzey

1. GİRİŞ

Çağımızda enerji; ekonomi, teknolojik gelişmeler, yaşam standartları ve çevre kirliliği gibi birçok konuyu etkileyen temel unsurdur. Enerjinin verimli kullanılması ekonomik olarak fayda sağlayıp, endüstride maliyeti düşürerek üretime katkı sağlayacaktır. Ayrıca enerjinin verimli kullanılması, enerji üretimi için daha az ham madde kullanımına ve daha az atık salınımına sebebiyet vereceği için çevre kirliliğine karşı da bir tedbirdir. Görüldüğü üzere enerji, doğrudan ve dolaylı olarak insanların hayat standartlarına etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bu sebeple enerji verimliliği konusunda araştırma yapılması bilim insanları açısından cezbedici olmuştur.

Enerji çeşitleri arasında en çok faydalanılanlarından biri de ısı enerjisidir. Isı enerjisinin kullanımı ile ilgili gündelik hayatta, sanayide ve endüstriyel uygulamalarda sıkça karşılaşılmaktadır. Bu uygulamalarda ısı enerjisinin etkili bir şekilde elde edilmesi, verimli olarak kullanılması ve dönüştürülmesi mühendisler için önemli bir problemidir. Öte yandan sistemlerin güvenli çalışması için de ısı enerjisinin bir ortamdan uzaklaştırılması ve ısı transfer mekanizmasının kontrol edilmesi de enerji verimliliğinin bir parçasıdır.

Tek fazlı akışların söz konusu olduğu sistemlerde ısı transferinin artırılması endüstriyel uygulamalarda sıkça karşılaşılan ve yeni teknik/teknolojilerinin geliştirilmesini gerekli kılan bir mühendislik problemidir. Isı üreten ve eklem sıcaklığının kontrol edilmesi gereken elektronik cihazların soğutulması, malzeme ömrü açısından gaz türbini kanatlarının soğutulması, gaz soğutmalı nükleer reaktörler, uzay ve otomotiv araçları, kompakt ısı değiştiriciler endüstriyel uygulamalara verilecek örneklerden önemli bir kaçıdır. Bu uygulamalarda ısı transferi mekanizması akışkan ve yüzey arasında olup akışkan hızına göre zorlanmış taşınım veya doğal taşınım ile gerçekleşmektedir. Akış hızlarının düşük olduğu sistemlerde ise ısı transferi bu iki mekanizmanın birlikte olduğu karma taşınım ile gerçekleşmektedir. Isıtıcı yüzeyin akış ve yer çekimine göre konumlanmasına göre zorlanmış ve doğal taşınım mekanizması birbirini destekleyebilir veya birbirine karşı bir davranış sergileyebilir.

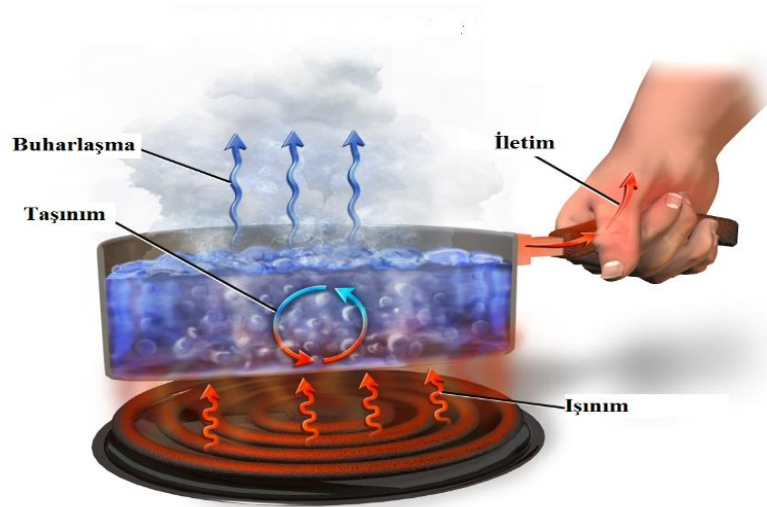
1. GİRİŞ

Endüstride sistemde üretilen ısının hızlı ve etkili bir şekilde atılmasının zorunlu olduğu uygulamalardan biri elektronik endüstrisidir. Özellikle, soğutma havasının dolaşımına engel teşkil edecek alt sistemlere sahip çok küçük boyutlu elektronik cihazlarda üretilen ve atılması gereken ısının ortamdaki uzaklaştırılması oldukça zordur (Zhang vd 2002). Yoğun bir güç tüketimi nedeniyle bu sistemler aşırı yerel ısınmaya neden olabilen güçlü lokal ısı kaynakları gibi davranırlar. Dolayısıyla verimli ve uzun ömürlü işletme şartları için sistemden ısıyı efektif bir biçimde atmak çok önemli bir problemdir (Niceno vd 2002).

Elektrik akımı bir yarı iletken veya pasif bir cihaz üzerinden geçtiğinde meydana gelen gücün bir kısmı ısı olarak ortama atılır. Bu fazla ısı, elektronik cihazın zarar görmesine neden olduğu gibi bir yarı iletkenin içerisindeki serbest elektronların hareketlerinin artmasına dolayısıyla sinyal sesindeki yükselmeye neden olur. Elektronik cihazın dizaynı yapılırken termal şartlar dikkate alınmadan ısının etkin bir şekilde uzaklaştırılmasına müsaade edilmezse, cihazın eklem (junction) sıcaklığı üretici tarafından belirlenen maksimum güvenli işletme sıcaklığını aşacaktır (Remsburg 2001).

1.1. Isı Transferi

Isı transferi 3 temel mekanizmadan oluşur; iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon), ışınım (radyasyon). Şekil 1.1’de bu mekanizmalar görülmektedir.



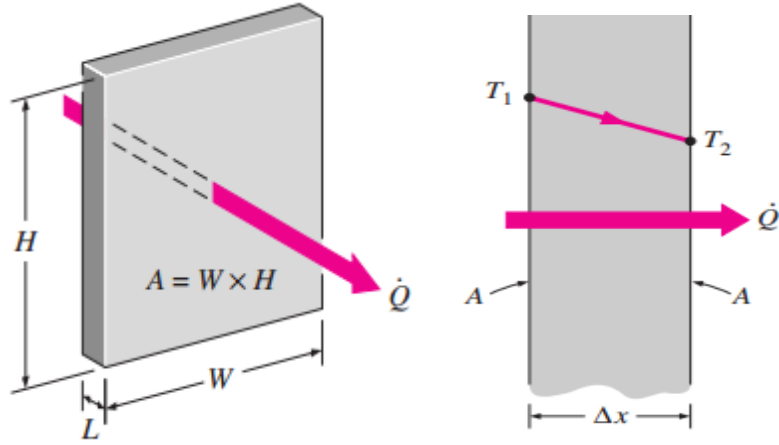
Şekil 1.1. Isı transferi mekanizmaları (www.wikiversity.org 06.12.2018)

1.1.1. İletim (Kondüksiyon)

İletim ile ısı transferi moleküllerin etkileşimi sonucu meydana gelmektedir. Yüksek enerjili parçacıkların daha düşük enerjili parçacıklara enerji aktarılması olayıdır. İletim ile ısı transferi maddenin üç hali olan katı, sıvı gaz durumlarında gerçekleşebilir. İletim ile ısı transferi atomik ve moleküler düzeyde hareketler ile ilişkili olup bu durum katılarda titreşim şeklinde gerçekleşirken, gazlarda ve sıvılarda moleküllerin düzensiz hareketler sonucu birbirleri ile çarpışması sonucu meydana gelmektedir.

Bir ortamda ısı iletiminin hızı, ortamdaki sıcaklık farkına, ortamın geometrisine, kalınlığına ve malzemesine bağlıdır. İletim ile birim zamanda transfer edilen ısı miktarını hesaplamak için Fourier denklemi kullanılır. Eşitlik 1.1’de Fourier denklemi verilmiştir. Burada Q ısı transfer hızını, ‘ k ’ iletim katsayısını, ‘ A ’ kesit alanı ‘ T ’ sıcaklığı ve ‘ x ’ ısı geçişi olan bölge kalınlığını ifade etmektedir.

$$Q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1.1)$$



Şekil 1.2. Isı iletimini ve yönünü gösteren görsel

1.1.2. Taşınım (Konveksiyon)

Hareketli bir akışkan ile bir yüzey arasında meydana gelen ısı transferi taşınım mekanizması ile gerçekleşir. Taşınım ile ısı transferi iki olgudan kaynaklanır. Molekül hareketlerinin rastgele yayılımı sonucunda enerji aktarımı ve akışkanın kitle ve doğrudan algılanabilir hareketi ile enerji aktarımından kaynaklanmaktadır.

Taşınımın bütünüyle etkisini ifade etmek için Newton'un soğutma yasası kullanılır. Eşitlik 1.2'de verilen Newton'un Soğutma Yasası eşitliğindeki h değeri ısı taşınım katsayısını, A ısı transferi yüzey alanını T_s yüzey sıcaklığı ve T_∞ ortam sıcaklığını temsil etmektedir.

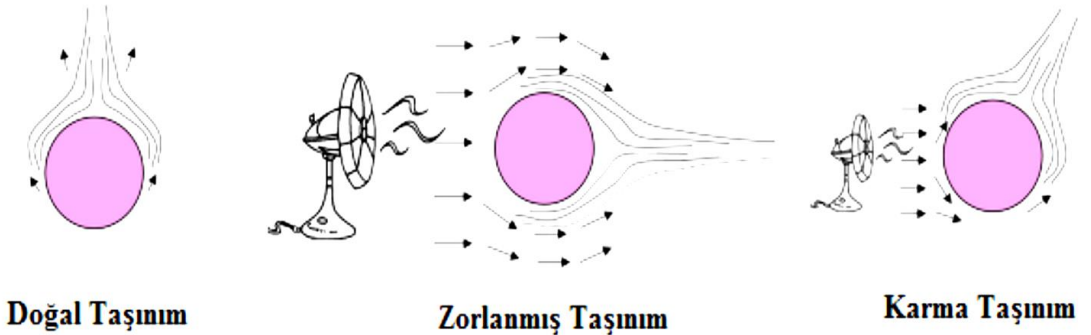
$$Q = hA(T_s - T_\infty) \quad (1.2)$$

Taşınım ile ısı transferinin üç farklı mekanizması aşağıda belirtildiği gibi üç şekilde gerçekleşir;

1-Doğal Taşınım

2-Zorlanmış Taşınım

3-Karma Taşınım



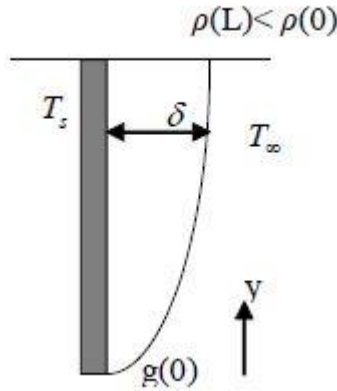
Şekil 1.3. Akışkanın hareketinin etkisiyle meydana gelen taşınım ile ısı transferi

1. GİRİŞ

Doğal taşınım; akışkan içerisinde var olan sıcaklık değişimlerinin nedeniyle akışkanın hareket etmesi sonucu ortaya çıkan taşınım türüdür. Doğal taşınım için günlük hayatımızdan birçok örnek verebiliriz. Örneğin; kaynattığımız bir suyu soğumaya bıraktığımızda hava moleküllerine doğal taşınım ile ısı transferi olur ve suyun üzerindeki hava molekülleri ısınarak yükselir. Görüldüğü gibi doğal taşınımın gerçekleşmesi için akışkana dışarıdan herhangi bir etki söz konusu değildir. Bundan dolayıdır ki akış hızları zorlanmış taşınım göre daha düşüktür. Doğal taşınımın kontrolü için Eşitlik 1.3'deki ifadeden faydalanılır.

$$\frac{Gr_L}{Re_L^2} \gg 1 \quad (1.3)$$

Eşitlik 1.3'deki oranda Gr_L değeri Grashof sayısını ifade eder. Grashof sayısı akışkana etkiyen kaldırma kuvvetleri ile sürtünme kuvvetlerinin oranıdır. Re_L değeri ise akışkan parçacığına etkiyen atalet kuvvetlerinin sürtünme kuvvetlerine oranıdır. Gr_L ve Re_L arasında bu ilişki sağlanırsa zorlanmış taşınımın etkileri ihmal edilebilir.



Şekil 1.4. Doğal Taşınım (www.harran.edu.tr 05.12.2018)

Zorlanmış taşınımında ise doğal taşınım gibi kendiliğinden değil akışkan hareketi dışarıdan gelen bir etki ile gerçekleşmektedir. Örneğin; pompa, fan, atmosferik rüzgâr, soğutmalı yoğuşturucular ve buharlaştırıcılar endüstride ve mühendislik uygulamalarında kullanılan ısı geçişinin temel olarak zorlanmış taşınım ile yapılmasını sağlayan cihazlardır. Zorlanmış taşınım ile ısı transferinde doğal taşınımın etkileri ihmal edildiğinde Gr_L ve Re_L aşağıda belirtildiği gibi bir oran vardır.

$$\frac{Gr_L}{Re^2_L} \ll 1 \quad (1.4)$$

Taşınım ile ısı transferinde genellikle doğal taşınımın etkilerinin göz ardı edilmesi bir kabuldür. Eğer kararsız bir sıcaklık gradyanı söz konusu ise bu durumda mutlaka doğal taşınımın da bir etkisi olacaktır. Aslında doğal taşınımın ihmal edilmesi hataya sebebiyet vermektedir. Taşınım ile ısı transferinde doğal taşınımın etkisinin ihmal edilemeyecek etkisinin belirtildiği bir oran Eşitlik 1.5'deki gibidir.

$$0,01 < \frac{Gr_L}{Re^2_L} < 10 \quad (1.5)$$

Eşitlik 1.5'de gösterilen sınırlar arasında hem doğal taşınımın hem de zorlanmış taşınımın etkilerinin gözlemlendiği bu durumda karma taşınımdan bahsedilebilir.

Kaldırma kuvvetinin ısı geçişi üzerindeki etkisi, zorlanmış akışta kuvvet ve akış yönü arasındaki farktan önemli oranda etkilenir. Bu kuvvetlerin yönü birbirlerine göre 3 farklı pozisyonda karşımıza çıkabilir. Bunlar;

- 1- Aynı yönlü (destekleyen akış),
- 2- Karşı yönlü (zıt akış),
- 3- Dik yönlü (çapraz akış) gibi hareket durumlarıdır.

Örneğin; ısıtılmış dikey bir levhayı göz önüne alalım. Levha boyunca yukarı doğru zorlanmış akış ile kaldırma kuvveti aynı yönlü olduğundan dolayı destekleyen akış, kaldırma kuvvetleri ile aşağı doğru zorlanmış akışlar ise ters yönlü olduklarından dolayı zıt akış durumlarına denk gelir. Dik yönlü akış durumları için ise küre, ısıtılmış bir silindir veya yatay bir levha üzerinde yatay akış örnek olarak verilebilir.

1.1.3. Işınım (Radyasyon)

Isı transferi mekanizmalarının sonuncusu olan ışınım ile ısı transferi iletim ve

1. GİRİŞ

taşınım ile gerçekleşen ısı transferinin fiziksel mekanizmasının aksine vakum ortamında gerçekleşebilir ki böylesi bir ortamda ısı transferinin gerçekleşmesi elektromanyetik dalgalarla sağlanmaktadır. Elektromanyetik dalga ile enerji aktarımı ışınım ile ısı transferi olarak adlandırılır ve bu durum sadece sıcaklık farkından kaynaklanır. Işınım ile ısı transferinde herhangi bir ortam ihtiyacı duyulmaz.

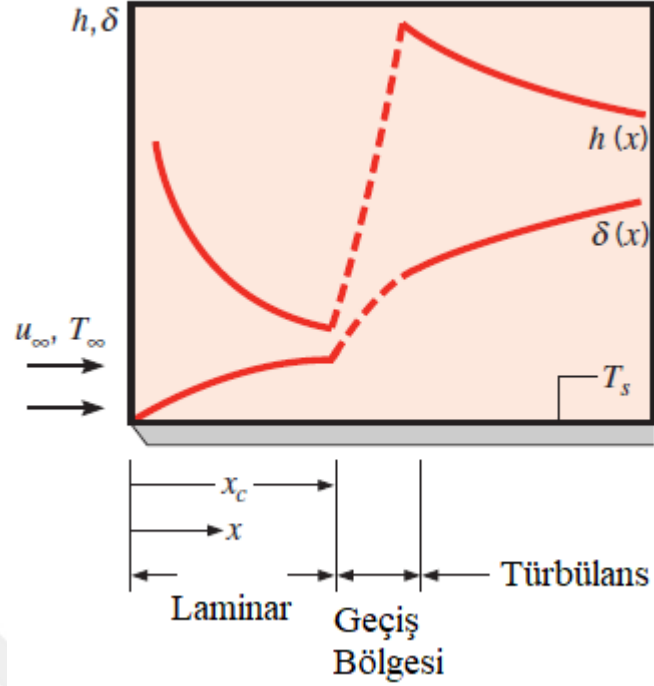
Işınım ile ısı transferi; ideal bir ısı yayıcı ya da siyah yüzey sıcaklığının dördüncü kuvveti ile orantılı olup aynı zamanda yüzey alanı ile de direkt orantılıdır. Bu ifadeyi formül olarak ifade edersek;

$$q_{\text{yayılan}} = \sigma AT^4 \quad (1.6)$$

Yukarıdaki denklemde orantı sabiti olan ‘ σ ’ Stephan Boltzmann sabiti olarak tanımlanır ve değeri $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{.K}^4$ tür. Sadece siyah cisimler için uygulanan Stephan-Boltzmann sabiti ısı ışınım kanunu olarak da adlandırılır.

Isı transferinin bu üç şekli endüstriyel uygulamalarda var olmakla beraber uygulamalardaki çalışma koşullarına ve daha baskın ısı transferi türüne göre biri veya bir kaçını ihmal edilebilir.

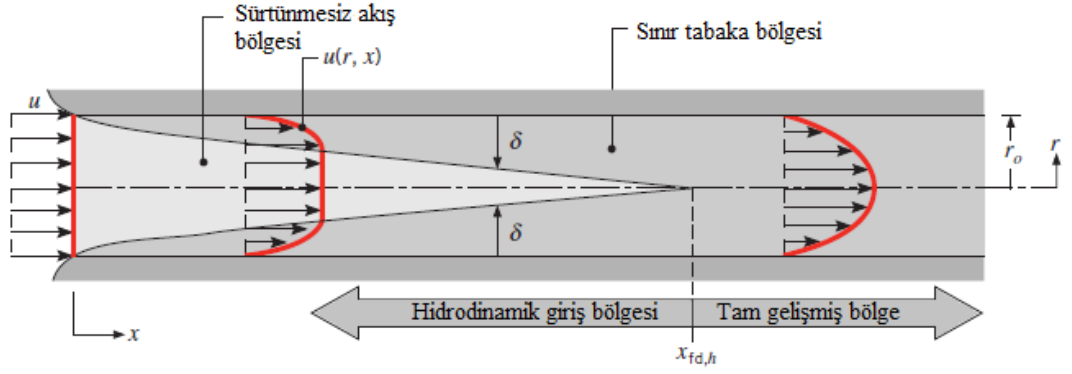
Isı transferi transferini artırma yolları, etkin ısı transferi mekanizmasına göre çalışmalarda uygulanmaktadır. İletim mekanizması düşünüldüğünde pürüzlü bir yüzey pürüzsüz bir yüzeye kıyasla daha yüksek ısı transferi sağlar. Taşınım mekanizmasında ise akışkanın hareketinde oluşturulan türbülans laminer duruma kıyasla daha yüksek ısı transferi olmasına sebep olmaktadır. Akışkan ile temas ettiği katı yüzey arasında türbülanslı akışta laminer akışa göre daha ince bir sınır tabaka oluşmaktadır. Sınır tabaka kalınlığı azaldıkça akışkan ile hareket ettiği kanal arasındaki ısı transferi daha iyi olmaktadır (Incropera 1996). Konvektif ısı transfer katsayısı δ ile sınır tabaka kalınlığı arasındaki ilişki Şekil 1.5’de görülmektedir.



Şekil 1.5. Sabit sıcaklıktaki düz bir levha üzerinde akış için hız sınır tabaka kalınlığının ve yerel ısı transferi katsayısının değişimi (Incropera and DeWitt 2010)

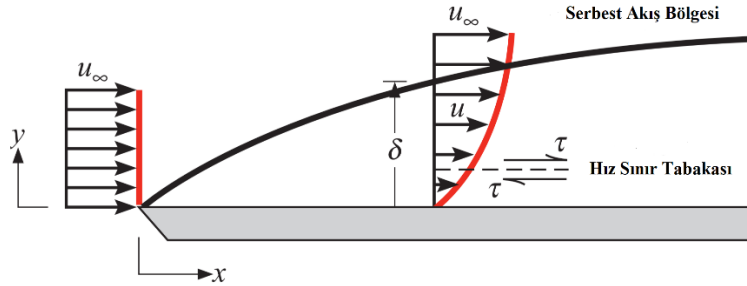
1.1.4. Hidrodinamik (hız) tabaka

Şekil 1.6'da akışkanın dairesel bir boru içerisindeki hareketi görünmektedir. Akışkan boru içerisine sabit hızla laminer akış ile girmektedir. Akışkanın boru yüzeylerine temas etmesi ile sürtünme etkileri oluşmakta ve sınır tabaka gelişmektedir. Bu gelişme akış bölgesinin giderek küçülmesi ve boru ekseninde sınır tabakaların birleşimi ile sonlanmaktadır. Birleşmeden sonra sürtünme tüm kesit boyunca etkili olur ve hız profili x yönüne bağlı olarak değişmez. Sınır tabakaların birleşimi sonrasında akış hidrodinamik olarak tam gelişmiştir. Giriş bölgesinden bu birleşme noktasına kadar olan kısım hidrodinamik giriş uzunluğudur ve $x_{fd,h}$ şeklinde ifade edilir. Şekilde görüldüğü gibi tam gelişmiş hız profili laminer akışta paraboliktir. Türbülanslı akış içinse radyal doğrultuda meydana gelen türbülanslı karışımından dolayı profil daha düz olmaktadır (Incropera 1996).



Şekil 1.6. Dairesel bir boruda hidrodinamik sınır tabaka gelişimi (Incropera and DeWitt 2010)

Şekil 1.7’de düzlem levha üzerinde hız tabakasının gelişimi gösterilmiştir. Akışkan hızına paralel düzlemlerde akışkan hareketindeki yavaşlama yüzeyde oluşan kayma gerilmesi, τ sebebi ile gerçekleşmektedir. Yüzeyden y yönünde uzaklaştıkça akışkan hızının x bileşeni v , serbest akış değeri olan v_∞ değerine kadar artar. δ büyüklüğü sınır tabaka kalınlığı olarak ifade edilir ve genellikle $v=0,99 v_\infty$ değerine ulaşılan y değeri olarak tanımlanmaktadır. Sınır tabaka hız profili sınır tabaka içerisinde v hızının y yönüne bağlı değişimini gösterir (Incropera and DeWitt 2010).



Şekil 1.7. Düzlem levha üzerinde hız sınır tabaka gelişimi (Incropera and DeWitt 2010)

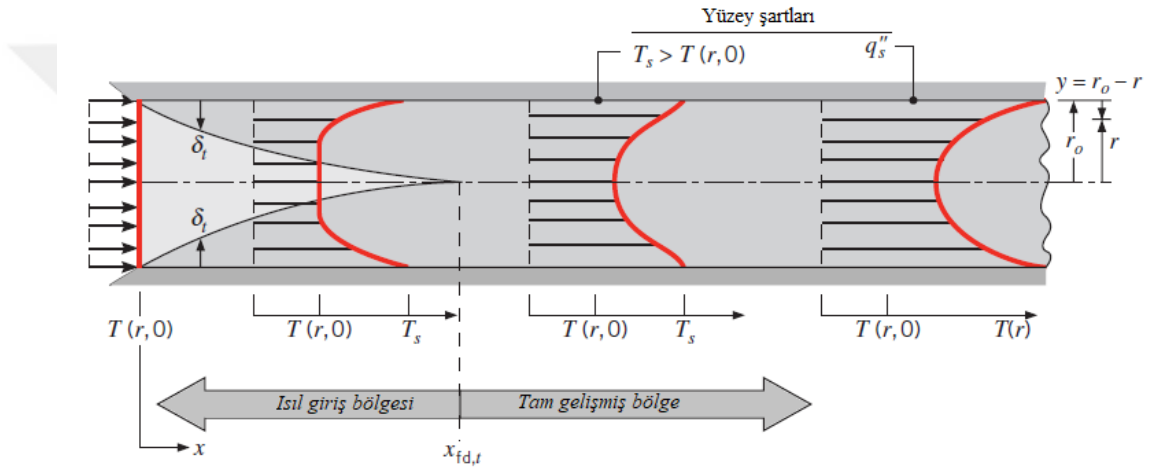
1.1.5. Isıl sınır tabaka

Şekil 1.8’de ki gibi yüzey sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta bir akışkan sabit sıcaklık $T(r,0)$ ile boru içerisine girerse, taşınım ile ısı transferi gerçekleşir ve ısıl sınır tabaka oluşmaya başlar. Bununla birlikte boru yüzeyi için sabit sıcaklık veya sabit ısı

1. GİRİŞ

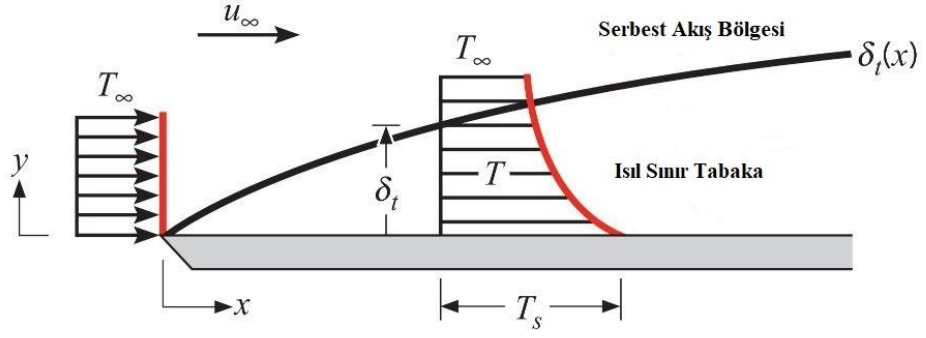
akısı şartlarında ısı olarak tam gelişmiş duruma ulaşılır.

Tam gelişmiş sıcaklık profili $T(r,x)$ yapısı, sabit yüzey sıcaklığı veya sabit ısı akısı sınır şartlarına göre değişmektedir. Ayrıca her iki şart için de akışkanın sıcaklığı boru boyunca artar. Eğer $Pr > 1$ ise hidrodinamik sınır tabaka termal sınır tabakaya kıyasla çok daha hızlı gelişir. $Pr < 1$ durumunda ise termal sınır tabaka gelişiminin daha hızlı olacağı görülür. Boru/kanal giriş konumunda ısı tabaka kalınlığı sıfır değerinde olduğu için $x=0$ 'da taşınım katsayısı (h) değeri büyük olup, ısı tabaka tam gelişmiş koşullardaki sabit değerine ulaşıncaya kadar hızla azalır.



Şekil 1.8. Isıtılmış dairesel kesitli bir boruda ısı sınır tabaka gelişimi (Incropera and DeWitt 2010)

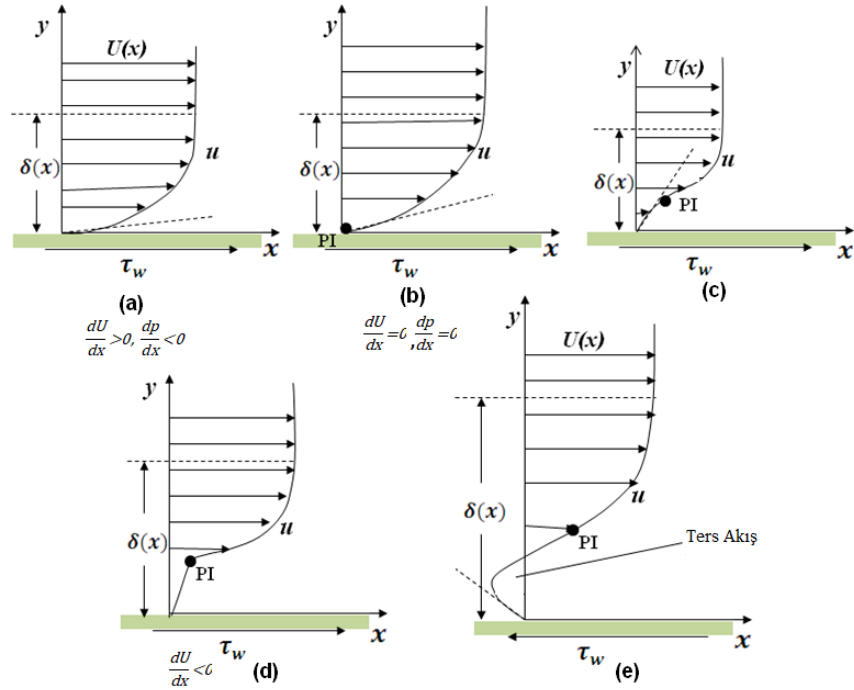
Şekil 1.9'da düz bir levha üzerinde ısı sınır tabaka gelişimi sunulmuştur. Levhanın giriş kısmında sıcaklık profili düzgün dağılımlı olup $T(y)=T_\infty$ 'dur. Bununla birlikte akışkan parçacıklarının levha ile teması sonucu parçacıklar levha ile aynı sıcaklık değerine ulaşır. Bu parçacıklar ile komşu akışkan tabakalar arasında enerji değişimi yaşanmasından dolayı akışkan içerisinde sıcaklık gradyanları oluşur. Akışkanın sıcaklık gradyanlarının olduğu bölge ısı sınır tabakadır. Isıl sınır tabakanın kalınlığı olan δ_t genel olarak $[(T_s-T)/(T_s-T_\infty)]=0,99$ oranını sağlayan y değeri olarak ifade edilir. Giriş konumundan uzaklaştıkça ısı geçişi serbest akışa daha çok etki eder ve ısı sınır tabaka kalınlığı artar (Incropera and DeWitt 2010).



Şekil 1.9. Sabit sıcaklıktaki düz bir levha üzerinde ısıl sınır tabakanın gelişimi (Incropera and DeWitt 2010)

1.1.6. Sınır tabaka ayrılmaları

Artan bir ters basınç gradyanına karşı hareket eden bir sınır tabakada cidar yakınlıklarında momentum kayıpları oluşmaktadır. Oluşan bu kayıplar ayrılmalara neden olur. Fakat azalan basınç (iyi huylu gradyan) ise ayrılmalara neden olmamaktadır. Basınç gradyanının sınır tabaka profilleri üzerindeki etkisi Şekil 1.10'da görülmektedir. Şekil 1.10 a'da dönüm noktası ve ayrılma yoktur. Bu şekilde laminer profile sahip akışlar türbülansa karşı dirençlidir.



Şekil 1.10. Basınç gradyanının sınır tabaka profillerine etkisi

1. GİRİŞ

Şekil 1.10 b'de dönüm noktası sıfır basınç gradyenindedir. Dönüm noktasının cidarın kendi üzerinde olmasında dolayı ayrılma olmayacaktır. Şekil 1.10 c, d ve e' de görüldüğü üzere ters gradyanda, sınır tabakanın içerisinde olup cidardan uzaklığı ters gradyan etkisi ile artan bir dönüm noktası oluşmaktadır. Bu durumda zayıf gradyan için akışta gerçekten bir ayrılma meydana gelmez lakin türbülansa geçişe hazır bir durum söz konusudur.

1.1.7. Sınır tabakaların önemi

Bir yüzey üzerinde akışın olması durumunda hidrodinamik sınır tabaka gelişimi söz konusudur. Hız sınır tabakada hız gradyanları ve kayma gerilmeleri bulunmaktadır. Hidrodinamik sınır tabaka gelişimi taşınım ile ilgili olan problemlerde etkili olmaktadır. Akışkan sıcaklığının yüzey sıcaklığından farklı olmasında ise ısı sınır tabaka gelişimi görülür. Bir yüzey üzerinde akış olması durumunda hız sınır tabaka ve yüzey sürtünmesi her zaman oluşabilmekte iken ısı sınır tabaka, dolayısıyla taşınım ile ısı transferi yalnızca yüzey sıcaklığı ve serbest akış sıcaklığının farklı olduğu durumda gerçekleşir.

1.1.8. Laminer ve türbülanslı akış

Taşınım problemleri çözümlenirken ilk incelenmesi gereken husus sınır tabakanın laminer mi yoksa türbülanslı mı olduğunu belirlemektir. Akış rejimi laminer, geçiş veya türbülans şeklinde olabilir.

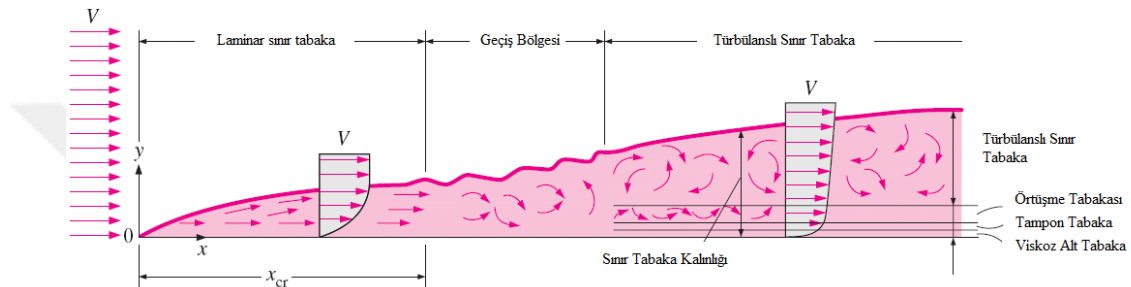
Akışın laminer olması durumunda akışkan hareketinde bir düzen söz konusudur. Akış parçacıkları akış çizgileri boyunca hareket eder. Akışkan hareketi akış çizgisi boyunca x ve y doğrultularındaki hız bileşenleri ile ifade edilir. v hız bileşeni yüzeye dik yönde olan hız bileşeni olup sınır tabakada momentum, enerji veya kütle geçişi üzerinde önemli etkilerde bulunmaktadır. Yüzeye dik yöndeki akışkan hareketi, sınır tabakanın x doğrultusundaki gelişiminin sonucunda oluşmaktadır (Incropera and DeWitt 2010).

Akışın türbülanslı sınır tabaka içinde olması durumundaysa akış oldukça düzensizdir. Akış içerisinde ani değişimler görülmektedir. Bu ani değişimler sonucunda enerji, momentum ve kütle geçişi artmakta dolayısıyla taşınım ile geçiş hızı ve yüzey

1. GİRİŞ

sürtünmesi de artış göstermektedir. Akışkandaki bu düzensiz, çalkantılı yapı sonucu türbülanslı sınır tabaka kalınlığında artış meydana gelir. Sınır tabaka profil yapıları incelenirse (sıcaklık, hız, derişiklik) laminer akışa kıyasla daha düz bir yapı görülür.

Şekil 1.11’de düz bir levha üzerinde hız sınır tabaka gelişimi sunulmuştur. Şekilde laminer, geçiş ve türbülanslı bölgeler görülmektedir. Laminer akış durumunda hız vektöründe herhangi bir nokta için, hız vektörü zamanla değişmez iken türbülanslı akışta ise hız vektöründe belirli bir değer aralığında düzensiz değişimler görülmektedir.



Şekil 1.11. Düz bir levha üzerinde hız sınır tabaka gelişimi (Çengel 2011)

Viskoz etkilerin baskın olduğu duvara bitişik olan ince tabaka viskoz alt tabakadır. Bu kısımda hız profili hemen hemen doğrusaldır ve akış akım çizgildir. Viskoz alt tabakaya bitişik olan, türbülans etkilerinin artmaya başladığı lakin viskoz etkilerin baskınlığında olan tabaka ise tampon tabakadır. Tampon tabaka üzerinde bulunan türbülans etkilerinin önemli ölçüde arttığı fakat baskınlık kuramadığı tabaka ise örtüşme tabakasıdır. En üst tabaka ise türbülans etkilerinin viskoz etkilere karşı baskın olduğu türbülanslı tabakadır (Çengel 2011).

Levha girişinde sınır tabaka laminerdir. Giriş bölgesinden biraz uzaklaştıkça çalkantılar başlamaktadır bu kısım geçiş bölgesidir. Çalkantıların şiddetinin artması ile türbülanslı akışa geçiş olur ve tam türbülanslı bölgede akışkan üç boyutlu düzensiz hareketler yapar. Türbülansa geçiş ile sınır tabaka kalınlığı, taşınım katsayısı ve yüzey kayma gerilmesinde önemli artışlar oluşur.

Akışın laminer ya da türbülanslı olduğunu Reynolds sayısı ile anlarız. Reynolds sayısı atalet kuvvetlerin viskoz kuvvetlere oranı şeklinde tanımlanır ve düz bir levha için

Eşitlik 1.7'deki gibi ifade edilir.

$$\text{Re} = \frac{\rho U_{\infty} x}{\mu} \quad (1.7)$$

Düz bir levha üzerindeki akış için Reynolds sayısı 10^5 ile 3×10^6 arasında değerler alır. Düz bir levha için genel olarak kabul edilen, laminardan türbülansa geçişi belirten kritik Reynolds sayısı değeri 5×10^5 'tir. İç akışın olduğu sistemlerde ise Reynolds sayısının kritik değeri 2.300'dür. Bu değer altında akış laminar olarak kabul edilirken, değer üzerinde türbülansa geçiş başlar ve türbülanslı akışın oluştuğu söylenmektedir.

1.2. Isı transferi artıma yöntemleri

Geçmişten bugüne dek artan enerji ihtiyacından dolayı enerjinin verimli kullanılması ve enerji tasarrufu önemli bir konu olmuştur. Enerji ihtiyacının artması ile birlikte enerji kaynaklarının tükeneceği gibi durumlar araştırmacılar tarafından göz önünde bulundurularak ısı transferini iyileştirme ve artıma konusunda birçok çalışmaya teşvik etmiştir. Literatürde, sanayide ve teknolojinin hemen her alanında kullanılmakta olan ısı değiştiricilerin ısı performansını iyileştirmeye yönelik birçok çalışma yapılmıştır ve bu durum ısı transferi iyileştirme yöntemlerinin devamlı olarak gelişmesini sağlamıştır. Isı transferini iyileştirmeye yönelik yapılan çalışmalar üç başlık altında aktif, pasif ve karma metotlar olmak üzere sınıflandırmak mümkündür.

Bu yöntemleri kısaca tarif etmek gerekirse ısı transfer edilen akışkana veya ortama dışarıdan ilave enerji verilmesi durumunda yani bir dış etkininin söz konusu olduğu iyileştirme yöntemine aktif yöntem denir. Yüzeyin titreştirilmesi, akışkanın titreştirilmesi, akışın mekanik olarak karıştırılması, yüzeyin döndürülmesi, enjeksiyon ve akış ortamına elektrostatik etkiler uygulanması aktif yöntemlere örnektir. Pasif yöntemlerde aktif yöntemlerden farklı olarak herhangi bir dış etki gerektirmeyen yöntemlerdir. Pasif yöntemlere örnek olarak işlem görmüş yüzeyler pürüzlü yüzeyler, genişletilmiş yüzeyler, dönmeli akış elemanları ve akış alanı içerisine yerleştirilmiş türbülatorlerdir. Aktif ve pasif yöntemlerden her ikisinin veya daha fazlasının birlikte kullanılmasına ise karma yöntemler denir.

1. GİRİŞ

Çizelge 1.1’de aktif ve pasif yöntemlerin verildiği tablo paylaşılmıştır.

Çizelge 1.1. Isı transferini arttırmaya yönelik aktif ve pasif yöntemler

Aktif Yöntemler	Pasif Yöntemler
Mekanik Yardımcı Elemanlar	İşlenmiş Yüzeyler
Yüzey Titreşimi	Pürüzlendirilmiş Yüzeyler
Akışkan Titreştirme	Genişletilmiş, Arttırılmış Yüzeyler
Elektrostatik Alanlar Oluşturma	Yerleşik İyileştirmeler
Enjeksiyon ya da Emme	Girdap Akışları Aygıtları
Jet Çarpması	Yüzey Gerilimi Aygıtlarından Yararlanma
Manyetik Alanlardan Faydalanma	Katkı-İlave Maddeler

1.3. PIV Yöntemi

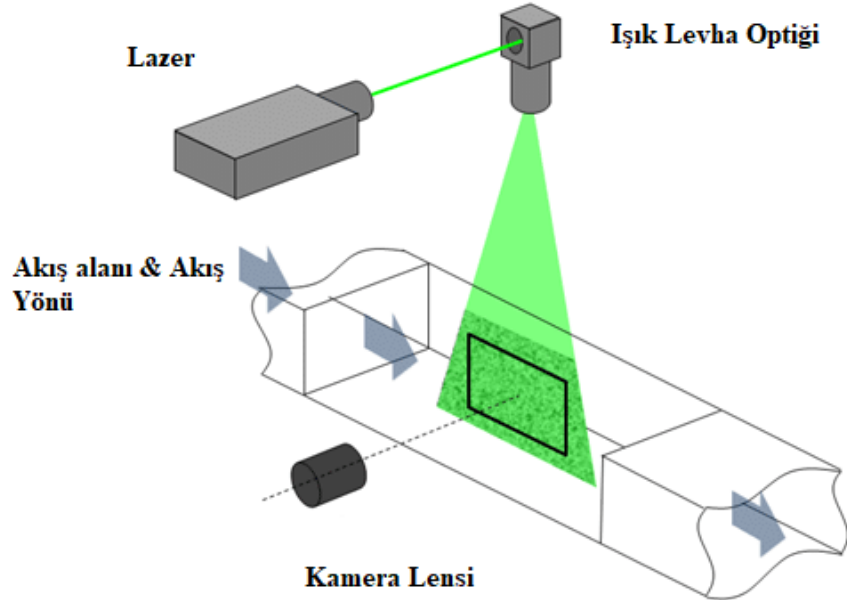
Çift-darbeli (parşlı) lazer tekniği olan PIV kısa zaman aralığında akış düzlemindeki parçacıkların yer değiştirmesini ve aynı düzlemdeki anlık hız dağılımını bulmaya yardımcı olan bir akış ölçüm yöntemidir. Diğer akış yöntemlerinden farklı olarak PIV bir bütün alan yöntemidir ki bu da aynı anda tüm en-kesit boyunca hız değerlerini vermesi anlamına gelmektedir. Örneğin dairesel bir borunun en-kesitindeki anlık hız profiline tamamı PIV ölçümü ile elde edilebilir. Başka bir deyişle PIV sistemi aslında bir kamera gibi istenen bir anda bir akış düzlemindeki hız profiline anlık resmi alabilir. Ayrıca PIV hız alanı gibi akış büyüklüklerinin net bir şekilde tarifini verir ve böylece elde edilen veriler ile akış sayısal olarak analiz edilebilir.

Son yıllarda kamera teknolojilerindeki gelişmeler beraberinde PIV sisteminin de kullanımını ve kabiliyetlerini artmıştır. Bu gelişmeler sayesinde PIV yönteminin kullanım alanı genişleyerek ses üstü akışlar, patlamalar, kabarcık büyümesi ve patlaması alev yayılması, türbülanslı akış ve daimi olmayan akış gibi alanlarda kullanılması yöntemi daha da değerli kılmıştır. Doğruluğu kısa sürede görüntü yakalama özelliği ve çok yönlülüğü ile birçok alanda iç ve dış incelemelerinde tercih edilmiştir.

1.3.1. Parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniğinin çalışma prensibi

Parçacık görüntülemeli hız tekniğinin uygulanması temel olarak belirli aralıklarda görüntülerin alınarak, alınan görüntülerin bilgisayar ortamında işlenmesi ve amaca uygun çıktılar elde edilmesine dayanır. Bilgisayarda işlenen görüntülemenin kaynağı aslında partiküllerdir. Akışkan içerisindeki partiküller tespit edilir. Lazer ile partiküllere ardışık iki atış yapılır ve atış süreleri arasındaki zaman farkı bilinmektedir. Bu sayede partiküllere ilişkin dolayısıyla da akışkana ilişkin hız değerlerini vektörel olarak uygun bağıntılar yardımıyla belirleyebiliriz. Burada dikkat edilmesi gereken nokta partikül miktarının ve yoğunluğunun istenen değerlerde olmasıdır. Özellikle yoğunluk değeri istenen ölçüde küçük olmalı ve partiküller akışkan ile uygun şekilde hareket edebilmelidir.

Akış karakteristiğini belirleme ve akış görüntülemeye yönelik yapılan bu çalışmalarda, partiküllerin akışkanla uyum içerisinde hareket etmesi tek başına yeterlilik göstermemektedir. Partiküllerin lazer tarafından belirlenebilmesi önemli olup, uygun boyut ve üstüne gelen ışığı yansıtacak özelliklerde olması gerekmektedir. İki boyutlu parçacık görüntülemeli hız tekniğinde kullanılan ekipmanlar Şekil 1.4'te gösterilmiştir.



Şekil 1.12. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği (PIV) (www.seika-di.com, 20.12.2018)

Şekilde görüldüğü üzere ışın demetlerinin akışın olduğu ortama (taban kısmı) dik olması önemlidir. Kamera da ışın demetlerine dik bakacak şekilde konumlandırılır. Açılarda sapma olması görüntüleme hatalarına sebebiyet verebileceği için dikkat edilmesi gereklidir.

Sistemlerden ısı transferini iyileştirmeye yönelik teknikler geliştirilirken bu tekniklerin ısı transferi ve akış fiziği açısından anlaşılması da önemlidir. Bu tez çalışması kapsamında sabit ısı akısı ile ısıtılmış düz bir levhaya paralel akış durumu göz önüne alınarak yedi farklı konumlandırma ile akış hızlarının düşük olduğu karma taşınım durumu göz önüne alınmıştır. Yüzeiden olan ısı transferine karşıt akış ve destekleyen akış koşullarının etkisi deneysel olarak incelenmiş, Parçacık Görüntüleme Tekniğiyle elde edilen hız profilleri ile ısı transferi karakteristikleri arasındaki ilişki akış fiziği açısından değerlendirilmiştir. Literatür özetleri bölümünde görüleceği üzere zorlanmış taşınım ve doğal taşınımın söz konusu olduğu çalışmalar ayrı ayrı literatürde bulunmakla birlikte akış fiziği ile karma taşınımın birlikte incelendiği deneysel çalışma sayısı çok fazla değildir. Bu çalışma ile elde edilen bilgi ve tecrübelerle karma taşınımın söz konusu olduğu sistemlerde akış yapısı ve ısı transferi karakteristiklerinin ilişkilendirileceği ve ısı transferini artırma yöntemlerinin akış fiziğinin araştırılması içinde bir zemin oluşturması hedeflenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Karma Taşınım

Birçok uygulamada doğal taşınım etkileri ile birlikte zorlanmış taşınım etkileri de görülmektedir. Özellikle Grashof ve Reynolds sayısı parametreleri arasındaki ilişkinin Eşitlik 1.5' te belirtildiği aralıkta olması durumunda, hem doğal hem de zorlanmış taşınım etkileri birlikte düşünülerek, karma taşınım şartı için işlem yapılması gerekir. Karma taşınım etkileri, tasarımlarda dikkate alınması gereken bir konu olmuştur fakat yapılan araştırmalar daha çok doğal taşınımın ihmal edildiği zorlanmış taşınım ile ilgilidir. Hâlbuki düşük Reynolds sayılarında doğal taşınımı göz ardı etmek hataya sebebiyet vermektedir. Bu çalışmada doğal taşınımın da dikkate alındığı dikdörtgen bir kanal içinde karma taşınımın etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

H.V.Mahaney et al. (1990) tarafından yapılan araştırmada yatay dikdörtgen bir kanalda karma taşınım ile ısı transferi incelenmiş ve ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısına bağlı değişimi için optimum bir değer belirlenmiştir. Akış içerisinde kaldırma kuvvetleri sebebiyle ısı transferinde artış belirlenmiştir. Akış değeri azaltıldığında ise gerekli pompa gücünde azalma olacağı saptanmıştır.

Maughan et al. (1990) alt ve üst kısmından üniform bir şekilde ısıtılmış kanalda tam gelişmiş karma taşınım akışı için hesaplamalar yapılmıştır. $Pr= 0,7$ Ra sayısı 0 ile 2.5×10^4 ve kanal eğim açısı 10^{-5} ile 10^3 aralığında hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalar, karma taşınım ile ısı transferi iyileştirilmesi alt yüzey ile sınırlı olduğu, alt yüzey sıcaklıklarındaki değişimin ısı transferi etkilerini artırdığı üst yüzey ile ilişkili maksimum sıcaklık değerinin aşıldığı sonucuna varılmıştır. Hesaplamalara göre, alt yüzeyde düşük ısıların korunmasının yanı sıra ısı transferini iyileştirmeye yönelik yapılan çalışmalarda önemli bir etkisi olduğu belirlenmiştir.

B. H. Kang et al. (1990) yatay bir plakada yalıtımlı ısı kaynağı modeli durumu için karma taşınım ile ısı transferini deneysel olarak araştırmışlardır. Yapılan çalışmada yüzey sıcaklık değişimleri ve akıştaki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Araştırma sonucunda karma taşınım parametrelerinin ısı transferi ve akış karakteristiklerine etkideği

görülmüştür. Doğal taşınımından zorlanmış taşınımına geçiş, tanımlanmış iki rejim için temel karakteristikler incelendiğinde ısı transfer değerinde ve yüzey sıcaklığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışmada Reynolds sayısının azalması ve model kalınlığındaki artış ile ısı sınır tabaka kalınlığında artış olduğu gözlemlenmiştir. Model kalınlığının yüzey sıcaklık dağılımına etkisi çok az olduğu ve Reynolds sayısı arttıkça sıcaklık dağılımı akıntıyla aynı yönde aşağı doğru hareket ettiği tespit edilmiştir. Yalıtımlı ısı kaynağı modelinin en üst yüzeyinde doğal taşınım baskın ise maksimum yüzey sıcaklığının var olduğu eğer zorlanmış akış baskın ise modelin sağ yüzeyinde maksimum sıcaklık olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmanın sonunda sıcaklığın yükselmesi durumu Grashof sayısının artması, Reynolds sayısının ise azalmasına bağlı olduğu tespit edilmiştir.

Yan (1994) tarafından yapılan çalışmada karma taşınımın etkisi, dikdörtgen bir kesit içine konulmuş elektronik parçaların ortama yaydığı ısının soğutulması durumu için incelenmiştir. Laminer ve türbülanslı olmak üzere iki bölge için ısı transferi etkisi üzerinde durmuşlardır. Karma taşınımın $0,01 < Gr/Re^2 < 10$ aralığında olduğu tespit edilmiştir. Sayısal olarak yapılan çalışmada akış çizgileri, hız vektörleri ve izotermal eğriler gibi parametreler elde edilmiştir. Elde edilen sonuca dayanarak elektronik parçaların buldukları kapalı ortamdan ayrı bir yerde tutulması gerektiği kanısına varılmıştır.

Yan (1995) üç boyutlu sayısal bir çalışma ile karma taşınımın dikdörtgen eğimli bir kanalda ısı transferi üzerine etkisini araştırmıştır. Yapılan araştırma sonucunda kaldırma kuvvetinin ısı transferi ve akış üzerinde etkili olduğunu saptamıştır.

Huang and Lin (1995) Dikdörtgen yatay konumla kanallarda karma taşınımın ısı özelliklerini ve vorteks akışını kararsız rejim koşulu için üç boyutlu sayısal yöntem metodu ile incelemiştir. $Pr=0,71$ ve $Re=200-1.000$ değerleri için Reynolds ve Grashof etkisi tespit edilmiştir ve daha büyük kanallarda vorteks akışının gelişmesine dikkat çekilmiştir.

M. Najam et al. (2003) tarafından yapılan çalışmada, sıralı bir şekilde dikdörtgen blokların dağıldığı yatay bir kanalda zamana bağlı karma taşınım etkisi incelenmiştir.

Akışkan tam gelişmiş olarak düşünülmüştür. Doğal taşınımın zorlanmış taşınım üzerine etkileri Re ve Ra sayılarının farklı değerleri için incelenmiştir. Tam gelişmiş zorlanmış akış yüksek Reynolds sayılarında kanalın soğuk yüzeyinde ısı transferinin büyük oranda azaldığı saptanmıştır. Yüksek Reynolds sayıları için kanal içerisindeki akışta dolaşımın olduğu belirlenmiştir.

Leong and Brown (2005) açık yatay konumlandırılmış oyuklu bir kanalda karma taşınımı araştırmışlardır. Oyuk oranları belirli değerler için çözümlenmiştir. Oyuğun oranının Reynolds ve Grashof sayılarına bağlı olarak değiştiğini ve oyuk içinde birbirini tekrar eden hücrelerin oluştuğunu tespit etmişlerdir. Isı transferi oyuk tabanında, düşük Reynolds sayılarında doğal taşınımın karakteristiklerini, yüksek Reynolds sayılarında ise zorlanmış taşınım karakteristiklerini göstermiş olduğu tespit edilmiştir. Hem doğal taşınımın hem de zorlanmış taşınımın etkilerinin bir arada gözlemlendiği karma taşınımında ise ısı transfer değerinin azaldığı akışın kararsızlaştığı gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonunda bu üç taşınımın etkisi birlikte verilmiştir.

Chong et al. (2007) yapılan çalışmada dikdörtgen kesitli bir kanala plaka yerleştirilerek karma taşınım ile ısı transferi etkileri araştırılmıştır. Kanal içerisine yerleştirilen plaka yüzeyi sabit bir ısı akısı ile ısıtılmış ve belirli açılar ile konumlandırılmıştır. Reynolds sayısı 300-1900 aralığında, Prandtl sayısı 0,7 ve Grashof sayısı 5×10^6 aralığında, yerleştirilen plakanın açısı ise -60 ile +60 aralığında değiştirilmiştir. Basınçta meydana gelen kayıplar ve aynı zamanda ortalama Nusselt sayılarında ki kayıplar ile Reynolds sayısının arasındaki ilişki belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda Reynolds sayısının 1.500'e kadar değer alması durumunda kanal açısının artmasıyla beraber ortalama Nusselt sayısının da yükseldiği fakat Reynolds sayısının 1.500'ün üzerinde olması durumunda Nusselt sayısındaki değişimin kanal açısından bağımsız olarak değiştiği saptanmıştır.

Schmeling et al. (2011) yapmış oldukları deneysel çalışma ile türbülanslı zorlanmış ve karma taşınımında akış yapısının oluşumu aynı zamanda ısı taşınımının sonuçlarını incelemişlerdir. Deneysel belirli bir yükseklik oranına sahip dikdörtgen kesitli bir kanal içinde gerçekleştirilmiştir. Akışkan olarak hava kullanılmıştır. Düzenekte ısı taşınımını sağlamak için en üst bölge sabit sıcaklık ile tutulurken taban ısıtılmıştır. Bu

2. KAYNAK ÖZETLERİ

durum sınırları belli koşullar altında karma taşınımın oluşmasına ve incelenmesine müsaade etmektedir. Parçacık hız görüntüleme ve yerel sıcaklık ölçüm yöntemleri ile elde edilen zorlanmış taşınımın sonuçları $Re=1,07 \times 10^4$ karma taşınım $1,01 \times 10^4 \leq Re \leq 4 \times 10^4$ ve $Ra=2,4 \times 10^8$ değerleri sunulmuştur.

Elsherbiny (2017) eşit sıcaklıklı yatay kare silindirde laminar doğal ve karma taşınım ısı transferi deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada doğal taşınım deneyleri için atmosferik hava ortamı kullanılmış Grashof sayısı $9,895 \times 10^4$, $1,499 \times 10^5$ ve $4,388 \times 10^5$ değerlerini veren kare silindirin 3 farklı boyutu için (25,30 ve 40 mm) için deneyler yapılmıştır. Karma taşınım deneyleri ise Reynolds sayısı 48 ile 670 aralığında olup kanal 0° den 180° 'ye kadar 30° 'lik açılarla değiştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Grashof, Reynolds ve Richardson sayılarının hava ortamı için ortalama Nusselt sayısı üzerindeki etkilerini göstermiş ve deney sonuçları daha önce yapılan çalışmalar ile kıyaslanmıştır.

Sarper vd. (2018) bu çalışmada özel olarak ısıtılmış paralel bir plaka dikey kanalda taşınım ile ısı transferi hem deneysel hem de sayısal olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada hem doğal taşınım hem de karma taşınım durumları dikkate alınmıştır. Doğal taşınım için Grashof sayısı karma taşınım için Richardson sayısı incelenmiştir. İletim ve ışınım ısı transferi incelenmesi için çalışma sıvısı olarak hava kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kanal duvar sıcaklıkları ölçülürken sayısal çalışmada ise ANSYS Fluent analizi yapılmıştır.

Chaurasia et al. (2019) dikdörtgen alttan ısıtılmış bir kanalda üç boyutlu laminar karma taşınım altında akış karakteristikleri ve ısı transferi özellikleri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada dikkate alınan parametreler yatay ve yayılı ısı Reynolds sayısı ve Prandtl sayısıdır. Sayısal analiz için ANSYS Fluent kullanılmıştır.

Yukarıda verilen özetlerin dışında karma taşınım ile ısı transferi alanında yapılan çalışmalara benzer birkaç araştırma bulunmaktadır. Karma taşınım ile ısı transferi alanında yapılan çalışmalarda Reynolds sayısının düşük olması sebebiyle araştırmalar zor olmuştur. Bundan dolayıdır ki yapılan çalışmalar genellikle deneyselden ziyade sayısal

2. KAYNAK ÖZETLERİ

çalışmalardır. Çizelge 2.1 karma taşınımın ısı transferi alanında yapılan sayısal çalışmalardan birkaç tanesini göstermektedir.

Çizelge 2.1. Karma taşınımına ilişkin çalışmalar tablosu (Mandev 2017)

Referans	Boyut/ Isıtma Şekli/ Akışkan Türü	Parametre Aralıkları	Bulgular
Islam et al. (2001)	3D/üIA/Hava,Su	$104 \leq Ra \leq 108$ $1,5 \leq R \leq 10$ $0,7 \leq Pr \leq 5,42$ $200 \leq Re \leq 1000$	Sonuçlar Rayleigh sayısının ikincil akış, eksenel hız profili, ısı transferi ve basınç düşüşü parametreleri üzerindeki etkisini içermektedir. Prandtl sayısındaki artış Nusselt sayısını azaltır. Nusselt sayısı deney sonuçları ile uyumludur. Nusselt sayısı belirli bir noktadan sonra hızla düşer, sonrasında uniform hale gelmeden, kademeli olarak artış gösterir.
Mirmasoumi and Behzadmehr (2008)	2D/üIA/AL ₂ O ₃ -Su	-	Hacimsel partikül yoğunluğu arttıkça ikincil akış gücü artmıştır. Tüpün alt bölümü, üst kısımdan daha yüksek konsantrasyona sahipken yoğunlaşma, viskoz kuvvetlerin etkin olduğu yakın duvar bölgesinde daha da yüksektir.
Ben et al. (2011)	2D/ÜIA/Su	-	Buharlaşma fenomeni, uygulanan ısı akışı yoğunluğunu ve besleme suyu kütleli debisini azaltarak veya besleme suyu sıcaklığını artırarak geliştirildi.
Izadi et al. (2013)	3D/ÜIA/AL ₂ O ₃ -Su	$Ri_o/Ri_i=0,5-1,5$ $\Phi=\%1-5$	Isı transfer katsayısını kaldırma kuvvetleri kaynaklı ikincil akışlar önemli bir oranda etkiler. Ri_o/Ri_i 'nin artırılması, iç ve dış duvar ısı transfer katsayısını artırır. Fakat nanopartikül hacimsel konsantrasyonunun ısı transfer katsayısına etkisi karışıktır.
Zanchini (2008)	2D/UDS	-	Elde edilen sonuçlar değişken viskozite artışının, kaldırma kuvvetlerindeki viskoz basınç düşüşüne bağlı olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda basınç düşüşünün sadece kesit ortalamalı Fanning sürtünme faktörü ile bağlantılı olduğu saptanmıştır.
Teamah et al. (2005)	2D/UDS	$Ra=10^3-10^6$ $Re=0-2000$ $Pr=0,01-10$	Bu çalışmada Rayleigh sayısı açısından ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısındaki artıştan etkilenmediği sonucuna varılmıştır

Çizelge 2.1.(devam)

Akbari et al. (2008)	3D/Nanoakışkan	-	Çalışmadan elde edilen verilere göre Isı transfer katsayısı 0.004 hacimsel partikül konsantrasyonunda yaklaşık olarak %15 civarında artmış ve sürtünme katsayısından dolayı basınç düşümü tüp eğimiyle paralel olarak artmıştır. Eğim açısı 45° değerinde ısı transfer katsayısı maksimum değere ulaşır
Devi and suriyakumar (2013)	2D	$0,00 \leq \phi \leq 0,10$ $0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	Eğim açısının etkisi ile sıcaklık düşerken açı artıkça boyutsuz hız artar. Bakır-su ve alümina-su nanoakışkanlarında hacimsel olarak partikül yoğunluğu artıkça boyutsuz hız ve sıcaklık artar.

2.2. PIV Yöntemi parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği

Sıcaklıkları birbirinden farklı bir akışkan ve katı bir cisim düşünelim. Bu iki cisim arasında meydana gelen etkileşim sonrasında ısı transferi olur ve akışkanın hareketi ısı transferi üzerinde önemlidir. Cisim üzerinde akışkanın yapmış olduğu hareket kontrol edilebilir ve oluşan ısı transferi hızı üzerinde bir ısı transfer hızı elde edilebilir. Akışkanın vorteks oluşturması için farklı geometrilere sahip cisimler kullanılır. Akışın meydana getirdiği bu vorteks oluşumları ve akış yapıları, akış alanını detaylı bir şekilde incelemek için PIV sisteminden yararlanır. Bu yapıların incelenmesi ısı transferinin artırılması konusunda yapılan çalışmalara hız kazandırmıştır. Bu bölümde PIV sistemi ile son yıllarda yapılan çalışmalarda bahsedilmektedir.

Gajusingh and Siddiqui (2008) kare kanal içinde yakın-duvar bölgesindeki ısıtılmış duvarın akış yapısına etkisi incelenmiştir. Hız alanlarını belirlemek için PIV yöntemi kullanılmıştır. Laminer ve türbülanslı rejimler için birçok ölçümler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ısıtılmış duvarın akış hareketi üzerindeki etkisinin türbülanslı ve laminer akış rejimlerine göre çok farklı olduğu belirlenmiştir. Aslında belirlenen şudur ki; laminer akış alt bölgeden ısıtıldığında, kaldırmanın da etkisiyle akışta türbülans meydana geldiğini göstermiştir. Akış türbülans durumundayken alttan ısıtılmasıyla kaldırma kuvvetlerine karşı türbülansın etkisinden dolayı türbülans özelliklerinin büyüklüğünü azaltır.

Dalkılıç ve Kürekçi (2009) yaptıkları çalışmada kare bir kanal içindeki hava hızı

profillerini belirlemek için PIV (parçacık görüntülemeli hızölçer) ve LDA (Lazer Doppler Anemometre) akışkan hız ölçüm sistemlerinden elde edilen sonuçların doğruluğunu karşılaştırmışlardır. Kanal içindeki akışkanın hareketini takip etme özelliğine sahip olduğu için parafin yağı kullanılmış. Hava sıcaklığı oda sıcaklığı civarında ve kare kanal 30x30 mm boyutlarında uzunluğu ise 1.200 mm olan kanalın içinden akışkan bir kompresör yardımıyla aktarılmıştır. Optik lazer cihazı hem LDA hem de PIV sisteminde akış alanını aydınlatmak için etkin rol oynamıştır. Kanaldaki akışın meydana getirdiği hız profillerinin özellikleri iki sistemi içinde uyumlu olduğu saptanmıştır.

Nishino et al. (2009) doğal taşınım akış alanlarının elektronik ekipmanlardaki soğutma kabiliyeti araştırılmıştır. Deneyde dikdörtgen kesitli dikey bir kanalda sıcaklık ve hız ölçümleri yapılmıştır. Kanaldaki doğal soğutma akışının hız profillerinin görüntülenmesi PIV cihazı yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

Guo et al. (2010) dikey yönde konumlandırılmış su kanalındaki türbülanslı karışım tabaka akışı PIV yöntemi ile deneysel olarak incelenmiştir. Kanal içine yerleştirilmiş ek bir plaka özel olarak tasarlanmış karışım tabakası düşük ve yüksek hızlı yan hız oranı ile üretilmiştir. Karışım tabakasının birleşmeye başladığı noktada Reynolds sayısı 2184 ile 14672 arasında değişmiştir. Elde edilen sonuçlara göre karışım tabakasının merkez çizgisi yakınında büyük tutarlı vorteks yapılarının olduğunu göstermiştir.

Travnicek et al. (2010) düşük Reynolds sayılı laminer akışı soğutma ve karıştırma gibi çeşitli ısı transfer uygulamalarında kullanılmıştır. Düşük Reynolds sayısı düşük yoğunluklu bir ısı transferi anlamına geldiğinden dolayı jetlerde bu uygulamalarının artırılması önerilmektedir. Buna bağlı olarak yapılan bu çalışmada düşük Reynolds sayılı laminer kanal akışı kullanılarak deneysel çalışılmıştır. Reynolds sayısı 200-500 aralığında tutulmuştur. Deneyler dikdörtgen kesitli bir kanalda sırasıyla hem hava hem de su için gerçekleştirilmiştir. Su için yapılan deneyde PIV cihazı ile görüntüleme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre mevcut düzenlemenin çeşitli uygulamalarda ısı transferinin artırılması için kullanılmasında fayda görüleceği yönündedir.

Stamatopoulos et al. (2011) yapılan çalışmada yatay dikdörtgen bir kanalda

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Reynolds sayısı 8-120 arasındaki değerleri için sıcaklık ve hız alanı deneysel olarak incelenmiştir. Grashof sayısı $0,44 \times 10^5$ ile $2,56 \times 10^5$ ve Richardson sayısı 3 ile 4.000 arasında değerler almıştır. Akışkan olarak su kullanılmış. Kanal belirli açılar ile konumlandırılmıştır. Alt duvarlar yatay olarak $+15,7$ ile $-15,7$ derecelik açılarla konumlandırılmıştır. Alt duvarın sıcaklığı yayılan akışkanın sıcaklığının üzerinde sabit tutulmuştur. Sıcaklık alanı dikey ve orta düzlemde sıvı kristaller ile belirlenirken, hız alanı ise PIV yöntemi ile ölçülmüş ve aynı zamanda ikincil hız alanının karakteristiklerini belirlemede yardımcı olmuştur.

Doucet et al. (2012) akış alanının iyi anlaşılması daha etkili ve geliştirilmiş tasarımların yapılması konusunda yardımcı olmaktadır. Bundan dolayıdır ki mikro kanallarda hız alanını daha net ve müdahalesiz görüntülemek için PIV cihazından faydalanılmaktadır. Yapılan deneyde açık mikro kanallar kullanılmış olup havanın akış hızı deney boyunca sabit tutularak akış görüntüleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Hız profil bilgisi her bir kanal boyunca üç noktada elde edilmiş ve sonuçlar CFD modelleri ile kıyaslanmıştır.

Coletti et al. (2012) akış yönüne dik yönde bir dikdörtgen kanalda, kaldırma ve dengeleyici kuvvetlerinin etkisi araştırılmıştır. Çalışma akışkanı olarak hava kullanılmıştır. Bakırdan işlenmiş kanal duvarı elektriksel dirençler aracılığıyla yaklaşık olarak 100 C° lik sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. Hız alanları PIV cihazı yardımı ile lazer diyotu ve yüksek hızlı kamera kullanılarak kanal düzlemi boyunca ölçülmüştür.

Mikielewicz et al. (2012) sunulan araştırma, rüzgâr tünellerindeki hava akışını incelemek üzere gerçekleştirilmiştir. Deneylerde Reynolds sayısı 9.000 ile 35.500 arasında değişmiştir. Araştırma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak yüzey sıcaklık dağılımları belirlenmiş ve ısı transfer katsayısının değerlendirilmesi yapılmıştır. İkinci olarak, PIV yöntemi ile akış karakteristikleri incelenmiştir. Isı transfer verilerinden ayrı olarak, basınç düşüşü de ölçülmüştür.

Elatar (2013) tarafından yapılan çalışmada kare bir kanal içerisinde düşük Reynolds sayılarında kanal içinde karma taşınımın etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Kanal akış oranı Reynolds sayısının 300 ile 750 arasında değişmesiyle farklı değerler

2. KAYNAK ÖZETLERİ

almıştır. Daha sonra kanalın alt yüzey sıcaklığı 30°C ile 55°C arasında değiştirilmiştir. Grashof sayısı $6,37 \times 10^6$ ile $3,86 \times 10^7$ değerleri arasında tutulmuştur. Kanal orta ve dikey olmak üzere iki düzlemde iki boyutlu hız alanlarını ve aynı zamanda alt ısıtılmalı duvara yakın iki yatay düzlemi ölçmek için Stereo- PIV tekniği kullanılmıştır. Tüm ölçümlerin sonunda doğal taşınımın zorlanmış taşınım üzerinde baskın olduğu saptanmıştır. Gr/Re^2 9 ile 206 arasında değer almıştır.

Mey et al. (2013) alt bölgesinden ısıtılan dikdörtgen bir kanalda poiseuille akış modelinin oluşumu Reynolds 200, Rayleigh sayısı 4×10^8 ile 7×10^8 arasında incelenmiştir. Yapılan deneyde akışkan olarak su kullanılmıştır. Kaldırma kuvvetlerinin zorlanmış akış üzerindeki etkisinin incelemek için hız alanları PIV yöntemi aracılığıyla belirlenmiştir. Ayrıca ölçüm ile elde edilen bilgiler, iç akış ve kanalın alt bölgesi arasındaki sıcaklık farkının bir fonksiyonu olarak akış yapısının oluşumuna ilişkin belirlenir. Bununla bağlantılı olarak laminerli akıştan türbülanslı akışa geçişe neden olan iki farklı mekanizma görülebilir.

Wang et al. (2013) mikro kanalda deney sıvısı olarak hava kullanılarak ısı transferi deneyi yapılmıştır. Alan-ortalama sıcaklıkları direnç sıcaklık detektörü ile ölçülmüştür. Reynolds değeri 100 ile 5.600 arasında yer almıştır. Mikro kanaldaki türbülanslı kinetik enerji hesaplamalarındaki hız alanını ölçmek için mikro parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği kullanılmıştır.

Elatar et al. (2014) yatay kare bir kanal içinde, ısıtılan alt duvar bölgesinde düşük Reynolds sayılarında yüksek Grashof sayılarında türbülanslı akış yapısının ve karma taşınım etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Gr/Re^2 oranı 9-106 arasında değerler almıştır. Bu da çalışılan tüm durumlar için doğal taşınımın zorlanmış taşınım üzerinde baskın olduğunu göstermiştir. Hız alanları ısıtılan duvara yalın iki yatay düzlem kullanılarak PIV yöntemi ile ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre alt duvar ısıtması ortalama hız alanını ve indüklenen türbülansı değiştirdiğini göstermiştir. Hem ortalama hem de türbülanslı hız büyüklükleri Gr/Re^2 oranına kısmi olarak bağımlılık göstermiştir. Gr/Re^2 oranı daha yüksek aralıklarda ortalama akış hızı daha büyük değerler alırken Gr/Re^2 oranının daha küçük değerlerinde ise türbülans hızlarının daha büyük değere sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Elatar et al. (2014) düşük Reynolds sayılarında karma taşınım ile oluşturulan kararlı yapıların karakteristiklerini kare bir kanalda incelemiştir. Gr/Re^2 21 ve 206 arasında incelenmiş ve sonucunda doğal taşınımın zorlanmış taşınım üzerinde etkin olduğunu belirlemiştir. Kanaldaki akış alanının üç boyutlu bir perspektifini elde etmek için PIV yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada kararlı yapılar tespit edilmiş ve tespit edilen yapının yeri kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bölgede ısıtılmış taban duvarından uzakta bulunan yapıların mevcut yapılara kıyasla daha uygun olduğu saptanmıştır.

Song et al. (2015) dikey dar dikdörtgen bir kanalda akan sudan yükselen hava ve buhar kabarcığının girdap özellikleri PIV cihazı kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir.

Abdelmassih et al. (2016) kare kanal kullanılan çalışmada kanal dibindeki kübik boşluğa kararlı ve karasız akışın karma taşınım özelliklerinin deneysel ve sayısal olarak analizleri yapılmıştır. Kanal genişliğine ve ortalama akış hızına bağlı Reynolds sayıları 100 ile 1.500 aralığında olup Richardson sayıları ise 0,1 ve 10 aralığında değişmektedir. Su kanalındaki ölçümler için PIV yöntemi kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada fiziksel özelliklerin sıcaklık ile değişmesinin genel akış topolojisi üzerinde dikkate değer bir etkisi olmadığından dolayı 3 boyutlu sayısal analizler yapılmıştır.

Dong et al. (2016) yapılan çalışmada açık dikdörtgen kesitli bir mikro kanalda mikro PIV yöntemi kullanarak akış karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Mikro kanalın aksel yönü boyunca, sıvı kesit alanları ve menüsküsün sıvı filminin merkezi kalınlığı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre akışkanın neredeyse akmadığı ve durgunluk evresinin sonuna yakın yani ölü bölge olduğunu göstermiştir.

Bae et al. (2017) genişliği 40 mm, yüksekliği 50 mm olan dikdörtgen bir kanalda ara yüzey dalga parametreleri, hava-su tabakalı akışta deneysel olarak incelenmiş ve PIV cihazı ile akış görselleştirme işlemi yapılmıştır. Deneysel hava için Reynolds sayısı 14.000 ile 70.000 aralığında, su için 450 ile 3.540 aralığında yer almıştır.

Cely et al. (2018) yatay dairesel kesitli bir kanalda iki fazlı akış kullanılmış ve akışın alanını anlık hız ölçümlerini elde etmek için PIV yöntemi kullanılmıştır. Dairesel

kesitli kanalın dış çap 155 mm, iç çap 60 mm ve 10,5 m uzunluğa sahiptir. Kanal belirli eğim açıları ile konumlandırılmıştır. Tohumlama parçacıklarını kaydetmek için de CCD kamera ile işlem yapılmıştır. Aydınlatma PIV lazeri ile sağlanmıştır. Anlık yerel hızlara dayanarak ortalama akış hızları ve olasılık yoğunluk fonksiyonları hesaplanmıştır.

Terekhov et al. (2018) birçok boyut ve derinlikleri olan aynı zamanda altıgen hücrelere sahip bir petek yüzey etrafındaki akış yapısı incelenmiştir. Kesit uzunluğu 21×150 mm ve uzunluğu 1.000 mm olan düz bir kanalda geliştirilen akış için PIV yöntemi kullanılmıştır. Yöntem sayesinde hem kanalda hem petek yüzeyinde akış görselleştirme yapılmış ve hız bileşenleri tespit edilmiştir.

Fujikami et al. (2018) bir reaktör basınç kabı etrafında dikdörtgen akış kanallı ve havanın doğal taşınımı kullanılan bir soğutma sistemi önerilmiştir. Bu sebeple akış karakteristikleri ve ısı transferi özellikleri incelenmesi düşünülmüş ve çalışma bu yönde gerçekleşmiştir. Dikey dikdörtgen kanal bir bölgesinden ısıtılmıştır. Deney düzeneğinin boyutları 600 mm yüksekliğinde olup çalışma sıvısı olarak hava kullanılmıştır. Kanal içine gözenekli bir malzeme yerleştirilmiştir. Sıcaklık ölçümü için ısı çiftleri kullanılmıştır. Akış hız dağılımı PIV metodu ile elde edilmiştir.

Lemanov (2018) 3,2 mm çapında silindirik bir kanalda laminar-türbülans geçişi deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde ortalama akış hızı ile belirlenen Reynolds sayıları 700 ile 12.000 arasında ölçülmüştür. Ortalama hızların profilleri ve laminar-türbülans geçiş bölgesindeki hızın aksel dağılımları PIV yöntemi ile belirlenmiştir.

Contreras et al. (2019) yapılan çalışmada dikey su kanalı kullanılmış ve kanalın ortasından bir oyuk açılmıştır. Açıklığa bakan duvar izotermal olup diğer duvarlar adyabatiktir. Akışkanın oyuk üzerindeki termal etkileri ve akış karakteristikleri stereoskopik PIV yani derin gören parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği ile incelenmiştir. Boşluk derinliği ve kanal arasındaki oran 1'dir. Prandtl sayısı 7, kaldırma kuvveti veya Richardson sayısı 0 ile 20 aralığında ve $Re=1.500$ ile $Re=4.500$ olarak 2 Reynolds sayısı tanımlanmıştır.

Li et al. (2019) tarafından yapılan çalışmada, plaka kanatlı bir ısı eşanjörü içine

yerleştirilmiş balık kuyruğuna benzeyen, kum saati biçimli olan kendi kendine karıştırıcının termo-hidrolik performansını karakterize etmek için deneysel araştırma yapılmıştır. Çalışmada akış alanı ölçümleri ve karıştırıcının akış karıştırma etkisini belirlemek için PIV yöntemi kullanılmıştır.

2.3. Dikdörtgen Kesitli Kanallarda Isı Transferi ve Akış Karakteristiği İnceleme

Literatürde ve birçok çalışma alanında kanal içindeki akışlara sıkça rastlanmaktadır. Bu sebeple dikdörtgen kesitli kanallar araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Dikdörtgen kesitli kanallar ısı değiştiricileri, havalandırma tesisatları, hidrolik türbinlerde, turbo makinelerde karşımıza çıkmaktadır. Yapılan literatür araştırması sonucunda dikdörtgen kanallar içerisindeki akışı ve ısı transferini inceleme ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır.

Hoagland (1962) tarafından yapılan çalışmada dikdörtgen kanallarda tam gelişmiş koşulda türbülanslı akış problemi deneysel olarak incelenmiştir. Kanal en boy oranları 1:1, 2:1 ve 3:1 dür. Araştırma sonucunda kanal içerisindeki hız dağılımları belirlenmiştir.

Jones (1976) dikdörtgen kesitli bir kanalda sürtünmeden dolayı meydana gelen basınç düşüşünü incelemiştir. Dikdörtgen kanallarda türbülanslı akış verilerinin düzgün dairesel boru verileri ile bir kıyaslaması yapılmış ve teorik çalışmalar ile deneysel çalışmalar arasındaki uyum incelenmiştir. Kanal en-boy artışı ile birlikte Reynolds sayısında sürtünme faktörünün de artmış olduğu belirlenmiş ve hidrolik çapın dairesel ve dikdörtgen kanallar için Reynolds sayısında kullanılacak uygun boyut olmadığı sonucuna varılmıştır.

Hunt et al. (1977) yapılan çalışmada yüksek en-boy oranına sahip dikdörtgen kanallardaki türbülanslı akışı incelemişlerdir. Sonuç olarak pürüzsüz düzey yüzeyle kanalda türbülans yoğunluk dağılımı ve hız profillerini belirlemişlerdir.

Yan (1994) tarafından yapılan çalışmada dikdörtgen kesitli bir kanalda laminer karma taşınım ile ısı ve kütle transferi sayısal olarak araştırılmıştır. Vortisite hız yöntemi kullanılarak üç boyutlu Navier-Stokes eşitliğinden faydalanılmıştır. Altı bağımsız

parametre kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kaldırma kuvvetinin sıvı akışı ve ısı transferi karakteristikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Lin (1996) eğimli dikdörtgen alttan ısıtılmış dikdörtgen bir kanalda havanın karma taşınımıyla ısı transferi deneysel olarak incelenmiştir. Zamana göre ortalama ısı transfer katsayısı ve hava sıcaklığı değişimleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre ısı transferinde artış meydana geldiği Grashof sayısının artmasıyla anlık akış görselleştirmeleri, girdap akışının ve ters akış yapılarının değişimleri açıkça görülmüştür.

Özsunar vd. (2000) yapmış oldukları çalışmada yatay dikdörtgen kesitli bir kanalda laminer karma taşınım koşullarında ısı transferini, SAD yöntemi ile de hız dağılımlarını incelemiştir. Kanal en-boy oranı 10 ve kanal alttan sabit bir ısı akışı ile ısıtılmıştır. Yapılan çalışmada gerekli temel denklemler çözülmüş ve daha önceki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların daha önceki sonuçlar ile uyumlu olduğu saptanmıştır.

Özsunar vd. (2001) dikdörtgen kanallarda çeşitli çalışma şartları altında karma taşınımıyla ısı transferi, sayısal olarak analiz edilmiştir. Kanal alt yüzeyinden üniform bir ısı akısıyla ısıtılmış ve üst yüzey ise çevre sıcaklığına maruz bırakılmıştır. $Pr = 0,7$, eğim açıları 0^0 ve 90^0 , Reynolds sayısı 50 ile 1000 Grashof sayısı 7×10^5 ile 4×10^6 için çözümlenmişler sunulmuştur. Üç boyutlu denklemler CFD ile çözümlenmiştir. Parametrik çalışmalar ile Nusselt sayısı dağılımları, kararsızlık başlangıcının yüzey ısı akışı ve Reynolds sayısı üzerinde etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre literatür ve paralelinde yapılan deneysel çalışmalar ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Arslan vd. (2010) bu çalışmada yatay düzlemli pürüzsüz dikdörtgen bir kanalda kararlı laminer zorlanmış taşınım ile ısı transferi hem sayısal hem de deneysel olarak incelenmiştir. Reynolds sayısı 295 ile 2.019 arasında değişmiştir. Hız ve sıcaklık dağılımları ısıtılmış bölgede eşzamanlı olarak gelişmeye başlamıştır. Kanalın alt bölgesine ise sabit sıcaklık uygulamış ve ANSYS programı ile sayısal çözümlenmeler yapılmıştır. Sayısal ve deneysel sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Tian et al. (2017) yapılan çalışmada dar dikdörtgen kesitli bir kanal tek taraflı

2. KAYNAK ÖZETLERİ

olarak ısıtılmış ve doğal taşınım şartları altında kanalda suyun akmaya gösterdiği direnç ve aynı zamanda ısı transfer özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan deney çalışmasında alt giriş soğutma sıcaklıkları 30 K ve 70 K arasında, ısı akısı 20 ile 90 kW ve basınç değerleri 0,2 MPa ile 0,3 MPa olarak gerçekleştirilmiştir. Kanal belirli açılarla konumlandırılmış ve laminer akış rejiminde hem ısı transferi hem de sürtünme faktörü değerinde bir artış saptanmıştır. Yapılan çalışma dikey bir kanalın parametreleri ile kıyaslandığında ısıtılmış bir alt plaka ile belirli açılarla konumlandırılmış dikdörtgen kanal içindeki akış direnci ve ısı transferinin iyileştirilebileceği gözlemlenmiştir.

Yukarıda belirtilen çalışmalarda dikdörtgen ya da farklı kesitli hava ya da su kanallarında karma taşınım, doğal taşınım veya zorlanmış taşınım etkileri deneysel ya da sayısal olarak incelenmiştir. Ya da PIV cihazının kullanılması ile ilgili sayısal çalışmalar bulunmaktadır.

Çizelge 2.2’de PIV yöntemi kullanılan bazı çalışmalar, ısı transferi, taşınım türü, çalışılan geometri gibi başlıklar için gruplandırılarak sunulmuştur.

Çizelge 2.2. PIV yöntemi kullanılan incelenmiş çalışmalar

Araştırmacı	Çalışılan Geometri	PIV	Taşınım Türü	Re	Isı Transferi
Gajusingh and Siddiqui(2008)	Kare kanal	+	-	-	-
Nishino, Y et al. (2009)	Dikdörtgen kesitli dikey kanal	+	Doğal	-	+
Dalkılıç ve Kürekçi (2009)	Kare Kanal	+	-	-	-
Guo, F et al. (2010)	Kanal	+	-	2184 – 14672	-
Travnicek et al. (2010)	Dikdörtgen Kesitli Kanal	+	-	200-500	+
Stamatopoulos, C et al. (2011)	Dikdörtgen yatay kanal	+	-	8-120	+

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Çizelge 2.2. (devam)

Doucet, DJ et al. (2012)	Mikrokanal	+	-	-	-
Coletti, F et al. (2012)	Dikdörtgen kanal	+	-	15000	-
Mikielewicz, D et al (2012)	Rüzgar Tüneli	+	Zorlanmış	9000- 35500	+
Mey, T. et al (2013)	Dikdörtgen kanal	+	-	200	-
Elatar (2013)	Kare kesitli kanal	+	Karma	300 ile750	+
Wang et al. (2013)	Mikrokanal	+	-	100-5600	+
Elatar et al. (2014)	Kare kanal	+	Karma	-	+
Song et al. (2015)	Dikdörtgen kanal	+	-	-	-
Dong Yu, et al. (2016)	Dikdörtgen kesitli bir mikro kanal	+	-	-	-
Abdelmassih et al. (2016)	Kare kanal	+	Karma	100-1500	+
Bae et al. (2017)	Dikdörtgen kanal	+	-	14000-70000(Hava) 450-3540 (Su)	-
Fujikami, K. , et al. (2018)	Reaktör basınç kabı	+	Doğal		+
Lemanov (2018)	Silindirik kanal	+	-	700-12000	-
Contreras, H. et. Al. (2019)	Dikey kanal	+	Karma-Zorlanmış		+
Li et al. (2019)	Plaka kanat	+	-		+
Wessels et al. (2019)	Kare kesit	+	Karma	-	+

Sunulan bu tez çalışmasında yukarıda verilen literatür çalışmalarından farklı olarak dikdörtgen kesitli hava kanalında karma taşınım etkilerinin hem ısı transferi özellikleri incelenmiş hem de PIV cihazı ile akış hız dağılımları görüntüleme işlemi

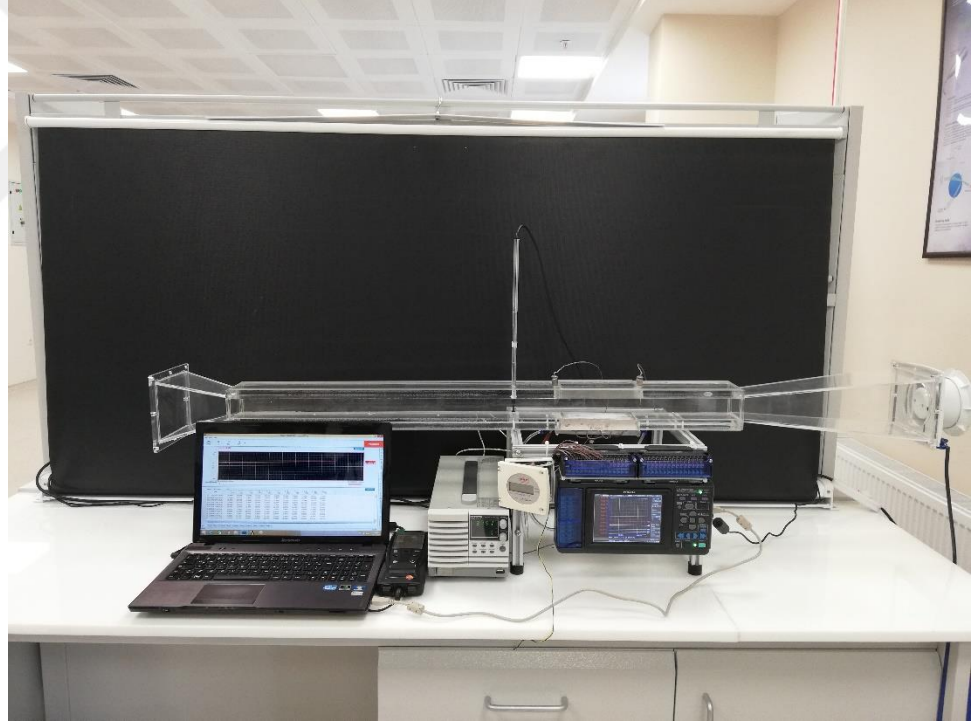
2. KAYNAK ÖZETLERİ

deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Literatürde hem karma taşınım hem ısı transferi hem de PIV cihazının tek bir çalışmada yer almaması eksikliğini giderilmesi konusunda yardımcı bir tez çalışması olmuştur.



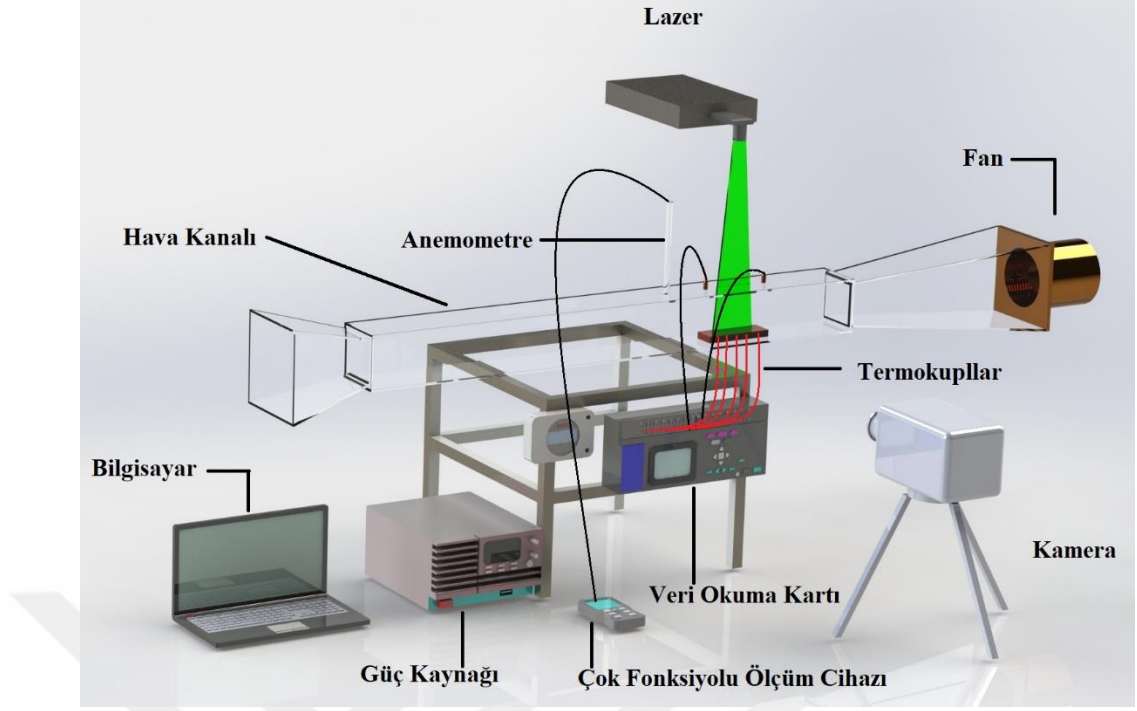
3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada dikdörtgen kesitli bir kanalda havanın karma taşınımıyla ısı transferi karakteristikleri destekleyen ve karşıt akış durumları için PIV yöntemi ile incelenmiştir. Dikdörtgen kesitli cam bir hava kanalı içerisinde, hava bir fan desteği ile hareket ettirilmektedir. Havanın hareket yönüne yerleştirilmiş bir plaka bulunmaktadır. Plaka sabit ısı akısı şartına maruz bırakılarak ısıtılmaktadır. Deneysel 5 farklı Reynolds sayısı değeri ve 7 farklı kanal açısı konumu için yapılmıştır. Ayrıca görüntüleme deneyi PIV yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Isı transferi analizi ile eşzamanlı olarak akış görüntülemesi yapılmıştır. PIV yöntemi ile havanın plaka boyunca akışı görüntülenmiş ve karma taşınım durumunda hız profiline değışimi incelenmiştir. Deney düzeneği ve şematiği sırası ile Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de görüldüğü gibidir.



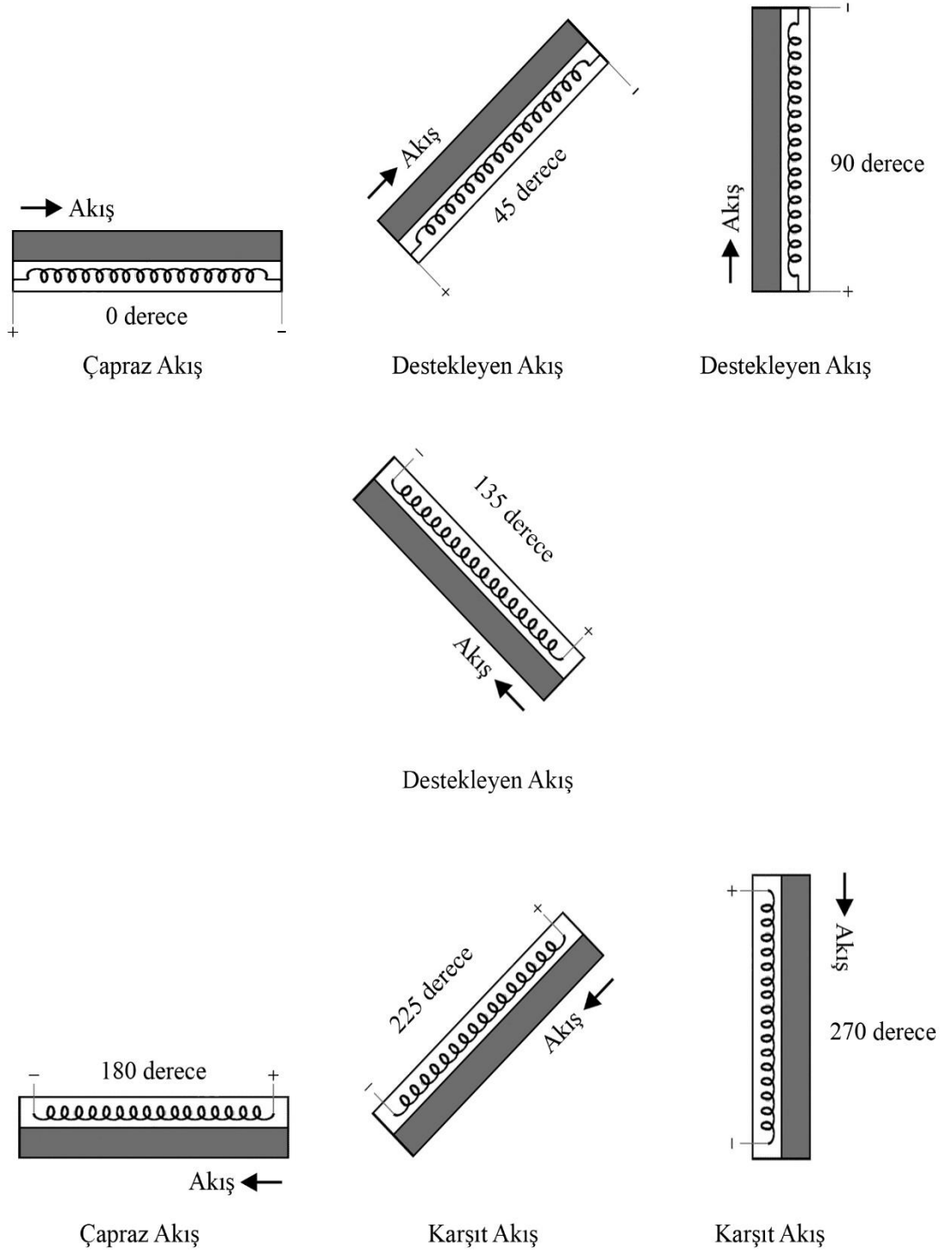
Şekil 3.1. Deney düzeneği

Deneysel çalışmada dikdörtgen kesitli kanal içerisinde giren hava bir fan vasıtasıyla kanal boyunca hareket ettirilir. Hava kanal içerisinde ısı çiftleri bağlanarak sıcaklık analizi yapılan bir plakaya doğru yönelir ve plaka üzerinden akarak kanalı terk eder. Plaka sabit ısı akısı şartına maruz bırakılmıştır. Havanın plaka üzerinde farklı Reynolds sayıları için hareketi sağlanarak ısı ölçümleri alınmaktadır.



Şekil 3.2. Deneysel Düzenek Şematiği

Ölçümler ısı çiftleri ve veri okuma kartı sayesinde bilgisayar ortamında değerlendirilerek kaydedilmektedir. Test bölgesinde plakanın sabit ısı akısına tabi tutulması için güç kaynağından faydalanılmıştır. Güç kaynağından test bölgesine 3W'lık güç aktarımı yapılmıştır. Kanalın her bir konumu için hava 5 farklı Reynolds sayısı değerinde kanal içerisinde hareket ettirilmiş ve ölçümler yapılmıştır. Kanal şekil 3.3'te görüldüğü gibi 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° açılarda konumlandırılmış ve ısı transferi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyin diğer bölümü ise PIV cihazı ile akışın hız dağılımlarının incelenmesidir. Bu kısımda güç kaynağı yardımı ile ısıtıcıya sabit ısı verdikten sonra sistemin kararlı hale gelmesi beklenmiştir. Kararlı hale gelen sisteme smoke generator (duman üretici) ile kanal girişinden duman verilmiştir. Aynı zamanda lazer kaynağından kanala dik yönde lazer ışığı verilip görüntünün netleşmesi sağlanmıştır. Lazer ışığının parlattığı dumanı kamera görüntüledikten sonra kaydedip bilgisayara aktarımı gerçekleştirilmiştir. Böylece akışın hız dağılımları belirlenmiş ve karma taşınım durumunda nasıl özellikler sergilediği incelenmiştir. Deneyler farklı açılar için tekrarlanmıştır.



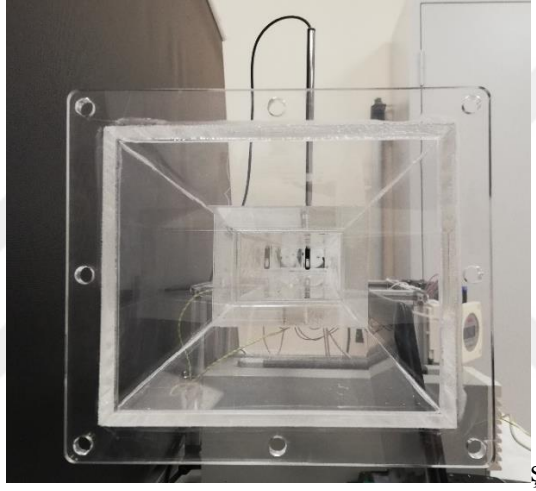
Şekil 3.3. Kanalin açıları ile konumlandırılması

Bu bölümde sırası ile deneyde kullanılan bileşenleri ve yöntemi açıklayacağız.

3.1. Deneyde Kullanılan Materyaller

3.1.1 Hava kanalı

Deneyde akış görüntülemesi de yapılacağı için şeffaf bir kanal kullanılması önemlidir. Bu sebeple akış kesiti 40×60 mm olan pleksiglas bir hava kanalı kullanılmıştır. Şekil 3.4'te kanalın kesit görüntüsü verilmiştir. Hava akışının üniform hale gelmesini kolaylaştırmak için kanal girişine efüzör konulmuştur.



Şekil 3.4. Hava kanalı kesit görünüşü

3.1.2. Fan

Düzenekte Avas marka DPA-100-2K-M model B sınıfı yalıtıma sahip aspiratör kullanılmıştır. Fan 100 m³/h-320 m³/h hava debisi aralığında çalışmaktadır. Çalışma gerilimi 220V, çalışma gücü 15W, ses seviyesi ise 39 dB değerindedir. Fanın devir sayısı değeri ise 2.600 rpm değerine ulaşabilmektedir. Fanın sisteme entegre edilmiş hali Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Fan

Deneylerde istenilen Reynolds sayısı değerlerine ulaşabilmek, karma taşınım şartını sağlayıp zorlanmış taşınımı etkilemek için fan, farklı devirlerde kullanılmıştır.

3.1.3 Çok fonksiyonlu ölçüm cihazı

Deneyde havanın kanal içerisindeki özelliklerini (nem akış hızı vs.) ölçmek için kanal içerisine probu yerleştirilen Testo 480 model anemometre çok fonksiyonlu ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçüm cihazı yüksek kaliteli problara sahip olma, akıllı kalibrasyon, grafik ekran, bilgisayar destekli rapor hazırlama gibi özelliklere sahiptir.

Cihaz ile akış alanı içerisine yerleştirilen prob vasıtasıyla ile havanın kanal içerisindeki akış hızı, sıcaklığı, nem gibi değerleri belirlenebilmektedir. Elde edilen veriler bilgisayar yazılımı yardımı ile bilgisayarda rapor edilebilmektedir. Şekil 3.6'da cihaza ait görsel sunulmuştur.



Şekil 3.6. Çok fonksiyonlu ölçüm cihazı (www.testo.com, 30.12.2018)

3.1.4. Plaka

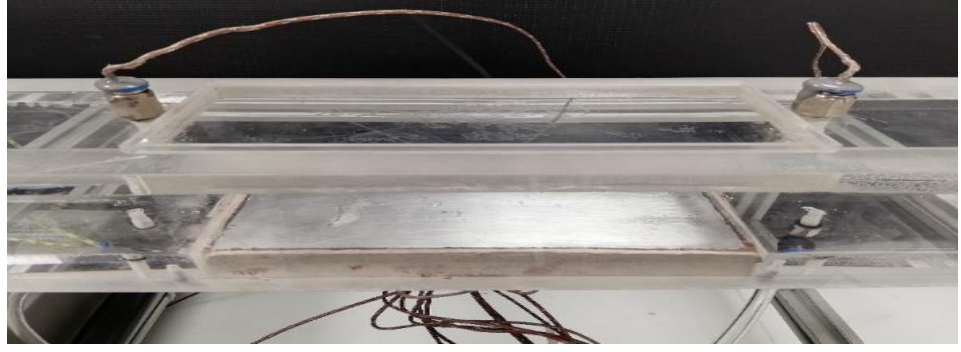
Deneyde kullanılan plaka alüminyum malzemeden üretilmiş olup, plakanın genişliği 60 mm, uzunluğu 150 mm'dir. Plakanın hava ile temas eden kısmı dışında kalan bölümleri yalıtımlıdır. Deney düzeneğinde konumlandırılan plakaya ait görsel Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Plaka

3.1.5. Isıl çiftler

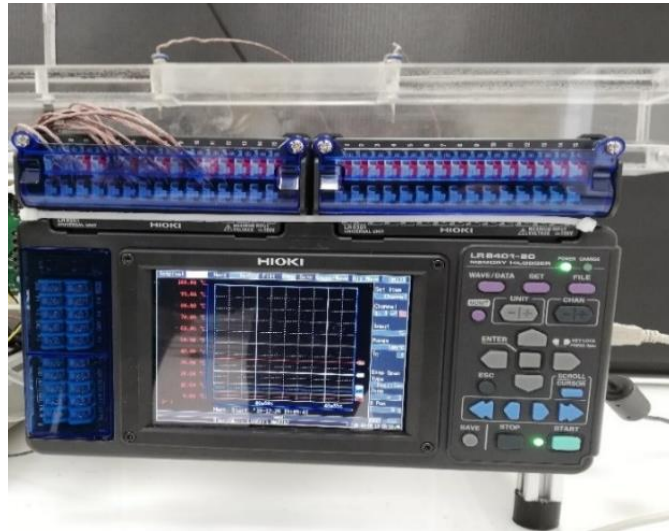
Test bölgesindeki plaka sabit ısı akısına maruz bırakılmıştır. Hava akışı ve değişen deney şartları için alınan ısı ölçümler K tipi ısı çiftler vasıtası ile yapılmaktadır. Plakanın alt kısmına ve havanın plaka üzerine giriş ve çıkış noktalarına yerleştirilen ısı çiftler veri okuma kartına bağlanarak ölçümler bu cihazda değerlendirilir. Plakaya bağlı ısı çiftler şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Isıl çiftler

3.1.6. Veri okuma kartı

Test bölgesinde bulunan K tipi ısı çiftleri vasıtası ile alınan veriler Hioki marka LR8402-20 model veri okuma kartı ile değerlendirilmiştir. Veri okuma kartı bilgisayar yazılımı desteğine sahiptir. Bu sayede okunan veriler anlık olarak hem cihaz ekranında hem de bilgisayar ortamında görülebilmektedir. Ayrıca yazılım sayesinde alınan veriler bilgisayar ortamına kayıt edilebilmektedir. Cihaz 30 analog kanala sahip olup otomatik olarak K, J, E, T, N, R, S, B, W tipi ısı çiftleri algılayabilmektedir. Cihazın çalışma gerilim değeri ± 100 V DC arasında değişebilmektedir. Cihaz istenen zamanda ölçüme başlama ve bitirme, ani güç kesinti koruması, alarm, bilgisayar ve belleğe kayıt, yazılım desteği gibi özelliklere sahiptir. Deneyde kullanılan veri okuma kartına ait görsel Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9. Veri okuma kartı

3.1.7. Güç kaynağı

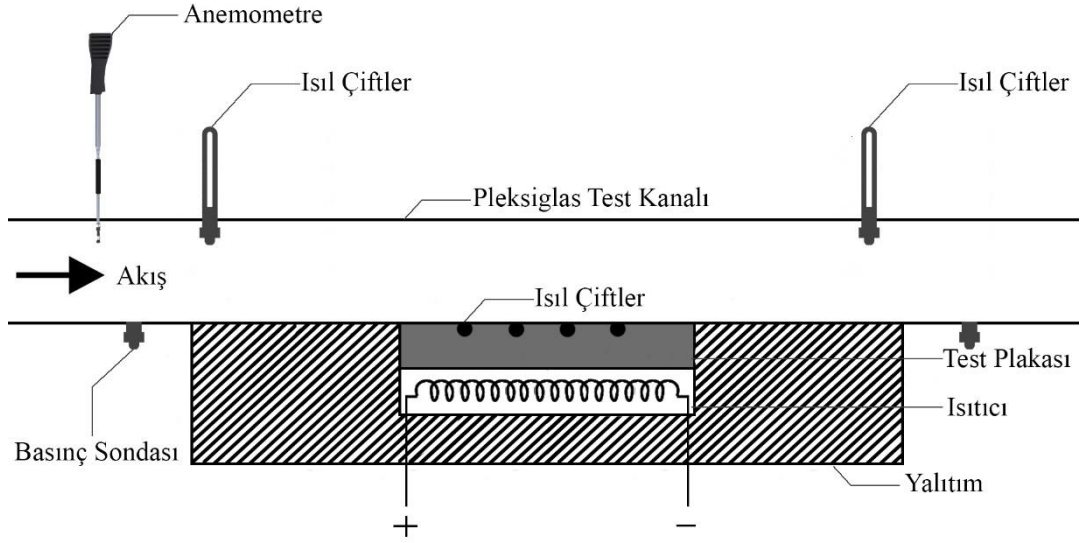
Test bölgesine yerleştirilen plakanın sabit ısı akısı şartının sağlanması için Şekil 3.10'da verilmiş olan GW INSTEK marka PSW 30-72 model cihaz kullanılmıştır. Cihaz ile istenen güç değerleri manuel kontrol ile sağlayabilmektedir. Cihaz 0-0,72 A akım ve 0-30V gerilim değerleri arasında kullanılabilir. Test bölgesine güç kaynağı ile 3W güç uygulanmıştır.



Şekil 3.10. Güç kaynağı (www.gwinstek.com, 30.12.2018)

3.1.8. Test bölgesi

Test bölgesi alüminyum malzemeden üretilmiş dikdörtgen bir plaka ve plakanın alt kısmında kullanılan yalıtkan malzemeden oluşmaktadır. Test bölgesinin üzerinde havanın test bölgesine giriş ve çıkış sıcaklıklarının ölçülmesi için hava kanalında delik açılmış, bu deliklerin her birisinden ısı çift geçirilerek test bölgesine bağlanmıştır. Isıl çiftlerin bağlanması sonrası delikler yalıtımlı şekilde kapatılmıştır. Ayrıca test bölgesinde yüzey sıcaklıklarının ölçülebilmesi için plakanın alt kısmına da eşit aralıklarla ısı çiftler yerleştirilmiştir. Test bölgesine güç kaynağı vasıtası ile sabit ısı akısı uygulanmıştır. Şekil 3.11'de test bölgesini tanımlayan iki boyutlu çizim sunulmuştur.



Şekil 3.11. Test bölgesi

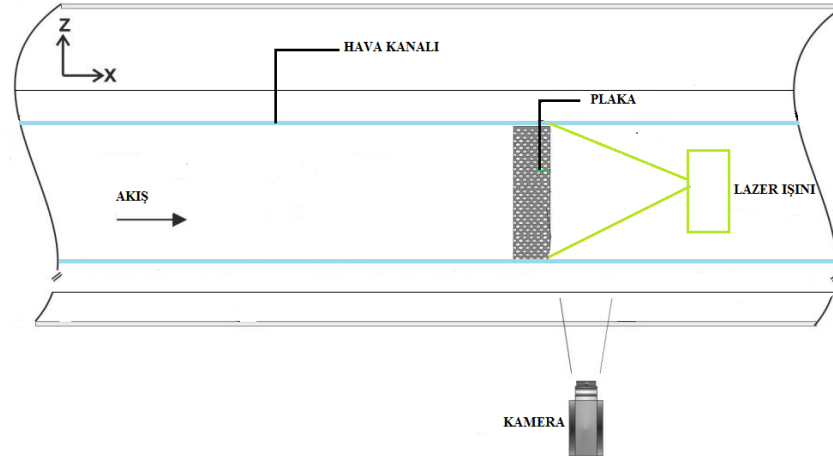
3.2. Parçacık görüntülemeli hız ölçümü (PIV) yöntemi ve elemanları

Kullanılan PIV sistem elemanları bir adet yüksek güçlü Nd:YAG lazer kaynağı, yüksek hızlı kamera (Charge Coupled Decvice, CCD camera), lazer soğutucu ünitesi ve duman üreticinden oluşmaktadır. Ayrıca lazer atımı ile kameranın görüntü alma işleminin senkronizasyonunu sağlayan bir zamanlayıcı (timer box) bulunmaktadır. Test bölgesinden alınan görüntüler Dantec Studio yazılımının yüklü olduğu bir Xenon işlemcili iş istasyonunda işlenmektedir.

Ham görüntülerin belirli işlemler uygulanarak bilgisayarda işlenmesi ve bu sayede uygun çıktılara dönüştürülmesi parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniğinin esasını oluşturur. Ham görüntüler deneyler sırasında elde edilen işlenmemiş görüntülerdir. Ham görüntüler belirli zaman aralıklarında alınarak bellekte biriktirilirler. Bu görüntülerin akış alanıyla ilgili bilgi vermesi için bir takım işlemlerden geçirilmeleri gerekmektedir. Kamera yardımıyla görüntülenen akış alanı küçük karelere bölünerek ağ haline getirilir. Lazerin deneyler sırasında ışını gönderdiği ardışık atımlar arasındaki süre bilinmektedir. Küçük karelere bölünün akış alanındaki mesafeler de bilinmektedir. Duman üreticinde üretilen duman zehirli değildir, şeffaf ve yoğunluğu hava ile hemen hemen aynıdır. Test bölgesinde hava ile birlikte hareket eden duman içerisindeki partiküller lazer ışmasıyla kamera tarafından algılanır. Belli bir sürede ne kadar yol aldıkları belirlenerek hız

bileşenleri vektörel olarak elde edilir.

Hız vektörlerinden hareketle diğer büyüklüklere geçilebilir. Şekil 3.12’de görüldüğü gibi yüksek hızlı kamera hava kanlınının tam karşısına ve test bölgesini tamamen görebilecek bir konuma yerleştirilmiştir. Lazer kaynağı ise test şeffaf bölgesinin üstünden ışını ısıtıcı yüzeye gönderecek şekilde konumlandırılmıştır. Böylelikle lazer ışınının bulunduğu düzlem ile kamera görüntü alma düzlemi arasında 90° açı bulunmaktadır. Kameranın görüntü aldığı düzlem ile lazer ışığının bulunduğu düzlemin birbirlerine dik olmaması durumunda alınacak ölçümlerin gerçek durumu yansıtamayacağı açıktır. Deneyle yapılrken bu duruma özellikle dikkat edilmiştir. Diğer önemli bir husus ise alınan görüntülerin netliğidir. Alınan görüntüler yeterince net olursa iyi bir hız alanı ölçümü yapılabilir. Net görüntüler elde edebilmek için uygun diyafram açıklığının (bu çalışmada 2.8 açıklıkta çalışılmıştır) sağlanması ve test bölgesinin netlik ayarı ile net bir şekilde görülmesi gerekmektedir. Lazer parlamalarının net bir biçimde kamera tarafından algılanması için çalışılan ortamın diğer ışık kaynaklarından izole edilmesi gerekir. Bu nedenle deneylerin yapıldığı parçacık görüntülemeli hız ölçümü laboratuvarında camlar ışık geçirmeyen izolasyon perdeleri ile kaplanmıştır.



Şekil 3.12. PIV ölçümünün şematik gösterimi

Doğru hız ölçümünün yapılabilmesi için önemli olan bir diğer önemli husus ise birim zamanda, birim alandan geçen partikül miktarıdır. Sıvı akışlarında uygun partikül miktarı için önerilerin bulunduğu çalışmalar mevcuttur. Ancak, duman üretici ile yapılan

çalışmalarda uygun bir miktar bulunmamakla birlikte dikkat edilmesi gereken önemli bir durum söz konusudur. Kanal içerisinde yeterli miktarda dumanın bulunması gerekmektedir. Duman içerisindeki parçacıklar sıvı akışlarında kullanılan katı partiküller gibi kolay algılanamamaktadır. Bu nedenle yeterli miktarda dumanın kanal içerisine alınması gerekmektedir. Dikkat edilmesi gereken diğer bir durum ise bu çalışmada olduğu gibi düşük hızlı akışlarda dumanın kanal içerisine uygun bir hızda verilmesi gerekliliğidir. Bu çalışmada duman, kanal girişinden önce bulunan bir hazneye yönlendirilmiş ve bu haznedeki kanalın diğer ucunda bulunan fan yardımıyla kanal içerisine doğru emilmiştir. Emilen duman ile akış görselleştirme ve ölçüm yapılabilmesi için akış hızına uygun lazer parlaması ayarlanması gerekmektedir. Düşük akış hızları için lazer parlama süresinin yeterince uzun olmasına dikkat edilmiştir. “Time Between Pulses” olarak adlandırılan atımlar arasındaki parlama için uygun süre denemelerle elde edilmiştir.

Parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği ile deneylere başlanmadan önce hava kanalı çalışılacak açı için konumlandırıldı. Ardından, lazer kaynağı ve kamera test bölgesinde düzlemleri dik kesişecek şekilde konumlandırıldı. Önceden hesaplanan hız değerinin elde edilmesi için fan çalıştırılarak hava kanalına emiş yaptırıldı. İstenilen hız değerine ulaşılıp ulaşılmadığı detayları daha önce verilen Testo marka anemometre ile test bölgesinden 300 mm önce ölçüldü. Arzu edilen değere ulaşıldığından emin olduktan sonra güç kaynağı ile sisteme enerji verildi. Akışkanın test bölgesine giriş ve test bölgesinden çıkış sıcaklıkları, test bölgesindeki ısıtıcı yüzey sıcaklıkları veri toplayıcı birim ile eş zamanlı olarak bilgisayara aktarılarak bilgisayardan takip edildi. Sıcaklıklar kararlı hale geldiğinde 30 saniye boyunca sıcaklık ve hız verileri kaydedildi. Isı transferi deneylerinin ardından akış ölçüm deneylerine geçildi. Sistem akış ve ısı transferi açısından kararlı haldeyken, üreteçte önceden üretilerek hava kanalından önceki hazneye alınan dumanın hava kanalına alınması sağlanmıştır. Hava kanalı tamamen duman ile dolunca lazer ile ateşleme yaparak görüntüler kaydedilmiştir. Görüntüleme işlemi bittikten sonra lazer ateşlemesi durdurulmuş, ancak parçacık görüntülemeli hız ölçüm sistemi diğer bir hız değeri için açık tutulmuştur. Benzer işlemler aynı sıra ile diğer hız değerlerinde tekrarlanmıştır. Çalışılan açı durumunda beş farklı hız için ısı transferi ve akış görüntüleme deneyleri bittikten sonra sistemler tamamen kapatılmıştır. Bir sonraki açı konumu için test bölgesi yeniden konumlandırılarak yukarıda anlatılan işlemler tekrarlanmıştır.

PIV sistem elemanları aşağıdaki bölümde tanıtılmıştır.

3.2.1. Sis Jeneratörü ve sis sıvısı

SAFEX FOG 2010 model sis jeneratörü deneylerde sis elde etmek amacı ile Dantec Dynamics şirketinden temin edilmiş ve kullanılmıştır. Sis jeneratörü su bazlı sis sıvısını yoğunlaştırıp buharlaştıran bu sayede yoğun ve beyaz sis oluşturan küçük ve güçlü bir cihazdır. Elde edilen sis yanıcı ve tahriş edici değildir.

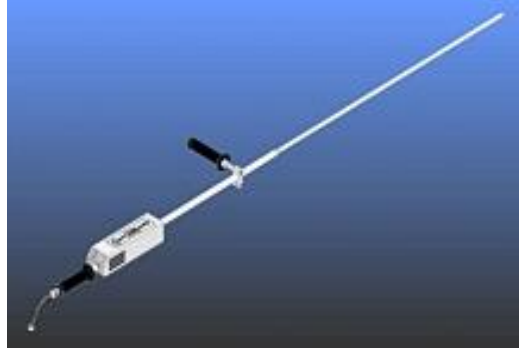
Sis jeneratörü ile elde edilen ortalama damla büyüklüğü $1\ \mu\text{m}$ 'dir. Jeneratörde farklı sis sıvıları (Blitz, Standart vb.) kullanarak elde edilen sis dumanının dayanıklılığı kontrol edilebilir. Sis sıvısı yüksek saflıktaki bileşenlerden oluşur ve temiz oda ortamı uygulamaları için tasarlanmıştır. Şekil 3.13'te kullanılan sis jeneratörü ve sis sıvısı gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Sis jeneratörü ve sis sıvısı

3.2.2. Sis probu sistemi

Dantec Dynamics SAFEX sis probu sistemi akış alanı görüntülenmesi için kullanılmıştır. Sis probu sistemi özellikle rüzgar tünellerinde akış alanı görüntülenmesi için geliştirilmiş ve optimize edilmiştir. Prob ile besleme ünitesi arasındaki bağlantının esnek oluşu kullanımı kolaylaştırmaktadır. Farklı prob başlıkları ile farklı akış hızlarına adaptasyon sağlanabilmektedir. Kullanılan sis probu Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Sis probu

3.2.3. Lazer

Çalışmada Dantec Dynamics DualPower TR model lazer kullanılmıştır. Kullanılan yüksek güçlü Nd:YAG lazer zamana bağlı PIV uygulamalarında kullanılan yeni nesil çift darbeli, diyotlu bir lazerdir.

Lazer 25 mJ'e kadar çıkış enerjisine ulaşabilmekte ve 1kHz'de kavite başına 527 nm çıkış enerjisi sunabilmektedir. Lazerin çalışma gerilimi 220-250V, ışın çapı 5mm, ağırlığı 65 kg ve çalışabildiği ortam sıcaklığı 5-30 C°'dir.



Şekil 3.15. Yüksek güçlü Nd:YAG lazer

3.2.4. Işık plakası optiği

Lazer ışınlarından homojen bir ışık plakası elde etmek amacıyla yüksek güçlü Nd:YAG lazerler için üretilmiş olan Şekil 3.16'da gösterilen modüler optik kullanılmıştır.

Dantec Dynamics markasına ait olan bu optik hemen hemen tüm akış aydınlatma uygulamalarında kullanılabilir. Optik vasıtasıyla akış uygulamalarında, sabit ya da ayarlanabilir kalınlıkta ışık plakaları üretilebilir.

Işık plakası optiği yüksek diyafram açıklığına sahiptir ve 12 mm ışın çapına kadar, yüksek enerjili lazer atışlarını işleyebilmektedir. Yüksek lazer gücü geniş alan hava akış çalışmalarında sıklıkla gerekli olup büyük diyafram değeri kalın ışık tabakalarına ihtiyaç halinde gereklidir.



Şekil 3.16. Işık plakası optiği

3.2.5. Senkronizör

Dantec Dynamics senkronizör, kurulan sistemde kamera, lazer, yoğuşturucu gibi ekipmanların birlikte ve uyum içerisinde olacak şekilde, ihtiyaç duyulan farklı zamanlama koşullarında kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Senkronizör vasıtası ile nanosaniye hassasiyetinde karmaşık lazer darbe zinciri oluşturulabilmektedir. Lazerden farklı tetik hızına sahip kameralar senkronizör vasıtasıyla rahatlıkla sisteme entegre edilebilmektedir. Her ikinci lazer atımında bir kamera tetiklenebilir, (eğer sisteme birden fazla kamera bağlanmışsa) her üçüncü atım için bir başka kamera ve her beşinci atım için bir başkası tetiklenebilir. Çalışmada kullanılan senkronizör Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Senkronizör

3.2.6. Kamera

Deneyleerde Dantec Dynamics için üretilmiş Phantom marka Miro M310 model yüksek hızlı iki adet CCD kamera kullanılmıştır. Kamera akış fenomenlerinin çoğunun ölçülmesi ve görselleştirilmesine imkan tanımaktadır. Kameranın labaratuvar versiyonu seçilmiştir. Bu versiyon yazılım tabanlı görüntü yakalama için basitleştirilmiş bir bağlantıya sahiptir. Kamera yüksek kare hızına sahip olup 1280×1280 tam çözünürlükte maksimum hızı 1850 fps'tir. Minimum perde hızı 1 mikrosaniye, piksel boyutu $10 \mu\text{m}$ 'dir.



Şekil 3.18. CCD Kamera

3.2.7. Dinamik studio ara yüzü

Dinamik studio ara yüzü karmaşık ölçümleri bizim için kolaylaştırır. Donanım yapılandırmasını mümkün olduğunca kolaylaştırarak kullanıcının uygulamaya odaklanmasına imkân tanımaktadır. Kullanılan çoğu aygıt tak ve çalıştır aygıtı olup bilgisayara bağlandığı zaman Dinamik studio aygıtı otomatik olarak algılar ve gerekli aygıt ayarlarını yükler. Ayrıca kablo bağlantı sihirbazı sayesinde dinamik zamanlama, kablolama şemaları ve cihaz kütüphaneleri önceden tanımlanmış, yazılıma dahil

edilmiştir. Bu sayede sistemin yapılandırılması ve kabloların donanımlara doğru şekilde bağlanması kolay olmaktadır.

Dinamik studio ara yüzü ile otomatik analiz yapma, veri görselleştirme, büyük miktarda verinin hızlı ve tutarlı şekilde analizi mümkündür. Ölçme verilerinden iki ve üç boyutlu grafikler, istenirse animasyonlar oluşturulabilir.

3.3. Hesaplamalar ve Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi

3.3.1. Isı transferi eşitlikleri

Test bölgesindeki akışkana ısıtıcı yüzeyden sabit ısı akısı uygulanmaktadır. Bu sebeple akışkanın yerel sıcaklıkları, test bölgesinin giriş ve çıkışından alınan sıcaklıklar kullanılarak lineer interpolasyon ile hesaplanmıştır.

$$\frac{dT_b}{dx} = \frac{qW}{\dot{m}C_p} = \frac{W}{\dot{m}C_p} h(T_s - T_b) \quad (3.1)$$

Burada q ısı akısı ve W kanal genişliğidir. Yukarıdaki denklemden sıcaklığın ısıtıcı uzunluğu boyunca değişimi belirlenebilir. Ayrıca sabit bir ısı akısı için Eşitlik (3.1)'de verilen ifade $x=0$ 'da integre edildiğinde Eşitlik (3.2) elde edilmiş olur.

$$T_b(x) = T_{b,i} + \frac{qW}{\dot{m}C_p} x \quad (3.2)$$

Isı akısı için Eşitlik (3.3) yazılabilir. Burada $(T_s - T_b)$ kanal uzunluğu boyunca (x) değişmektedir. Bu fark test bölgesi girişindeki yerel taşınım katsayısının büyük olması nedeniyle başlangıçta küçüktür. Fakat ısı sınır tabakanın kanal boyunca gelişimi sebebiyle h taşınım katsayısı düşer ve fark gittikçe artar.

$$q = h(T_s - T_b) \quad (3.3)$$

Laminer akış için termal giriş uzunluğu ($x_{fd,T}$) Eş. (3.4)'de verildiği hali ile hesaplanır.

$$\left(x_{fdT}/D_h\right)_{Laminer} \approx 0,05 Re Pr \quad (3.4)$$

Test bölgesine verilen toplam güç ise Eşitlik (3.5) kullanılarak belirlenir.

$$Q_{ısıtıcı} = VI \quad (3.5)$$

Yüzeyle taşınım ile aktarılan ısı Eşitlik (3.6) ile hesaplanır. Burada Q_{iletim} toplam ısı kaybını ifade etmektedir.

$$Q_{taşınım} = Q_{ısıtıcı} - Q_{iletim} \quad (3.6)$$

Isı transfer yüzey alanı Eşitlik (3.7)'deki gibi tanımlandıktan sonra Eşitlik (3.8) kullanılarak taşınım ısı akısı belirlenebilir.

$$A_s = WL \quad (3.7)$$

$$q_{taşınım} = \frac{Q_{taşınım}}{A_s} \quad (3.8)$$

Taşınım ısı akısı kullanılarak yerel ısı transfer katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır Eşitlik (3.9).

$$h_x = \frac{q_{taşınım}}{T_{s,x} - T_{b,x}} \quad (3.9)$$

Burada tüm akışkan özellikleri film sıcaklığına göre belirlenmelidir. Film sıcaklığı Eşitlik (3.10)'da tanımlandığı gibi belirlenir.

$$T_{f,x} = \frac{T_{s,x} + T_{b,x}}{2} \quad (3.10)$$

Yerel Nusselt sayısı Eşitlik (3.11)'de verilen hali ile hesaplanır.

$$Nu_x = \frac{h_x D_h}{k_x} \quad (3.11)$$

Ortalama Nusselt sayısının hesaplanmasında aşağıda verilen Eşitlik (3.12), Eşitlik (3.13), Eşitlik (3.14) ve Eşitlik (3.15)'den faydalanılmıştır.

$$\bar{T}_s = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} \bar{T}_{s,x} dx \quad (3.12)$$

$$\bar{T}_b = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} \bar{T}_{b,x} dx \quad (3.13)$$

$$\bar{T}_f = \frac{\bar{T}_s + \bar{T}_b}{2} \quad (3.14)$$

$$Nu = \frac{q_{taşınım} D_h}{k(\bar{T}_s - \bar{T}_b)} \quad (3.15)$$

Diğer boyutsuz parametrelerin belirlendiği eşitlikler ise aşağıda verilmiştir. Eşitlik (3.16), Eşitlik (3.17) ve Eşitlik (3.18). Burada β Eşitlik (3.19)'da verildiği hali ile hesaplanmış, diğer termofiziksel özellikler ise ortalama film sıcaklığına göre belirlenmiştir.

$$\overline{Gr} = \frac{g \beta D_h^3 (\bar{T}_s - \bar{T}_b)}{\nu^2} \quad (3.16)$$

$$\overline{Ra} = \overline{GrPr} \quad (3.17)$$

$$Ri = Gr / Re^2 \quad (3.18)$$

$$\beta = 1 / (273 + \overline{T}_f) \quad (3.19)$$

$$Re = \frac{\rho U D_h}{\mu} \quad (3.20)$$

3.3.2. Belirsizlik analizi

DeneySEL verilerin doğru analiz edilebilmesi açısından hata analizinin gerçekleştirilmesi gereklidir. Bu amaçla literatürde yaygın kullanılan bir yöntem olan Kline and McKlinton (1953) yönteminden faydalanılmıştır. Bu yöntemde R büyüklüğü x_1, x_2, x_3 gibi n adet bağımsız değişkenlere bağlı bir büyüklük kabul edilsin yani $R=R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$. Bu bağımsız değişkenlerin hata oranları w_1, w_2, w_3, w_n , olarak tanımlanır. Bu durumda hata oranı w_R aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır. (Eşitlik 3.21)

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.21)$$

Eşitlik 3.21’de verilen eşitlikten yararlanılarak bazı büyüklüklerin hata oranları aşağıdaki eşitlikler ile sunulmuştur. Eşitlikler sırasıyla Reynolds sayısı (Eşitlik 3.22), Nusselt sayısı (Eşitlik 3.23), Grashof sayısıdır (Eşitlik 3.24).

$$\frac{w_{Re}}{Re} = \left[\left(\frac{w_{\dot{m}}}{\dot{m}} \right)^2 + \left(\frac{w_{D_h}}{D_h} \right)^2 + \left(\frac{w_{\mu}}{\mu} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.22)$$

$$\frac{w_{Nu}}{Nu} = \left[\left(\frac{w_v}{V} \right)^2 + \left(\frac{w_{D_h}}{D_h} \right)^2 + \left(\frac{w_l}{I} \right)^2 + \left(\frac{w_{\Delta T}}{\Delta T} \right)^2 + \left(\frac{w_k}{k} \right)^2 + \left(\frac{w_A}{A} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.23)$$

$$\frac{w_{Gr}}{Gr} = \left[\left(\frac{w_p}{\rho} \right)^2 + 9 \left(\frac{w_{D_h}}{D_h} \right)^2 + \left(\frac{w_{\Delta T}}{\Delta T} \right)^2 + 4 \left(\frac{w_v}{v} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.24)$$

Sunulan eşitliklerden görüleceği üzere belirsizlik hesabı yapılan büyüklüklere farklı parametreler etkimiştir. Reynolds sayısı için kütleli debi, hidrolik çap ve dinamik viskozite aynı oranda etki etmekte iken, Grashof sayısında en büyük etkiyi hidrolik çap parametresi oluşturmaktadır. Parametrelerin belirsizlik değerleri ilgili kataloğlardan elde edilerek yerine yazıldığında aşağıdaki çizelgede sunulan belirsizlik değerlerine ulaşılmıştır.

Çizelge 3.1. Belirsizlik analizi sonuç değerleri

	Re	Nu	Gr
%	1,69	2,78	2

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Isı Transferi Sonuçları ve Karşılaştırılması

Bu tez çalışmasındaki deneyler Erzurum Teknik Üniversitesi, Yüksek Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde (YÜTAM) yer alan Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm (Particle Image Velocimetry, PIV) Laboratuvarı'nda bulunan ve detayları materyal ve yöntem bölümünde anlatılan sistemde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan deney düzeneğinin doğrulanmasının yapılması için öncelikle ısıtıcı plakanın yukarı baktığı yatay durumda gerçekleştirilmiş ve sonuçlar literatürdeki modellerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada Elsherbiny et al.(2017) tarafından hava akışının karma taşınım şartlarında farklı açılar için sundukları ve Eşitlik 4.1'de verilen korelasyonlar kullanılmıştır. Karşılaştırmada kullanılan diğer bir model ise Oosthuizen and Bishop tarafından karma taşınım şartları için oluşturulmuş ve Eşitlik 4.2'de sunulmuş modeldir. Modellerle bu çalışmanın sonuçlarının karşılaştırıldığı durum Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Deneysel sonuçlar Oosthuizen- Bishop modeliyle oldukça iyi bir uyum içerisindedir.

Ayrıca deney sonuçları tüm hücum açıları ve karma akış için ilişkilidir. Sonuçlar iki gruba ayrılır. Tüm hücum açıları için ($0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$) ve ($90^\circ < \varphi \leq 180^\circ$)

$$Nu_{corr} = 0,72Re^{0.2}Gr^{0.117}e^{0.057\cos\varphi} \quad (0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ) \quad (4.1)$$

$$Nu_{corr} = 0,72Re^{0.2}Gr^{0.117}e^{0.121\cos\varphi} \quad (90^\circ < \varphi \leq 180^\circ) \quad (4.2)$$

Karma taşınım için Oosthuizen ve Bishop tarafından verilen önerilmiş korelasyon akış formu aynı yönlü ya da zıt yönlü akış için uyumlu olacaktır. Aynı yönlü akış için verilen korelasyon; ($\varphi=0^\circ$)

$$Nu_n = 0,384Gr^{0.252} \quad (4.3)$$

$$Nu_f = 0,526Re^{0,475} \quad (4.4)$$

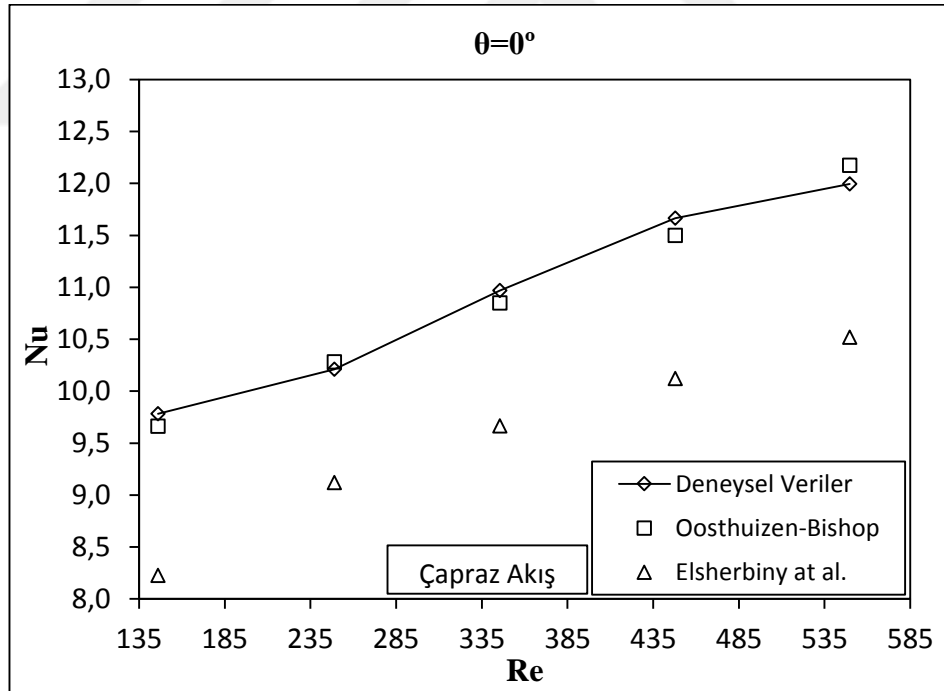
$$Nu_{corr} = \left[Nu_n^{3,02} + Nu_f^{3,02} \right]^{\frac{1}{3,02}} \quad (4.5)$$

Zıt yönlü akış için verilen korelasyon; ($\varphi=180^\circ$)

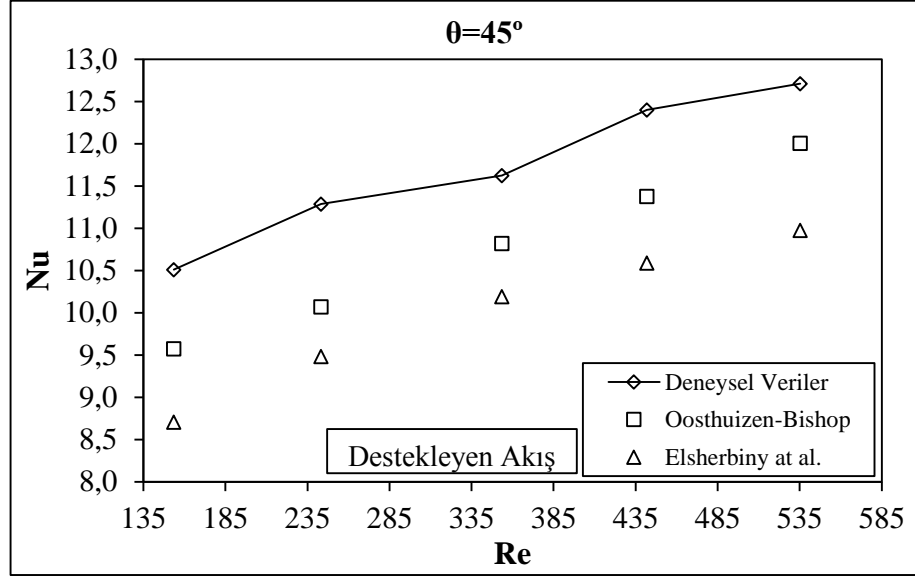
$$Nu_n = 0,384Gr^{0,252} \quad (4.6)$$

$$Nu_f = 0,480Re^{0,492} \quad (4.7)$$

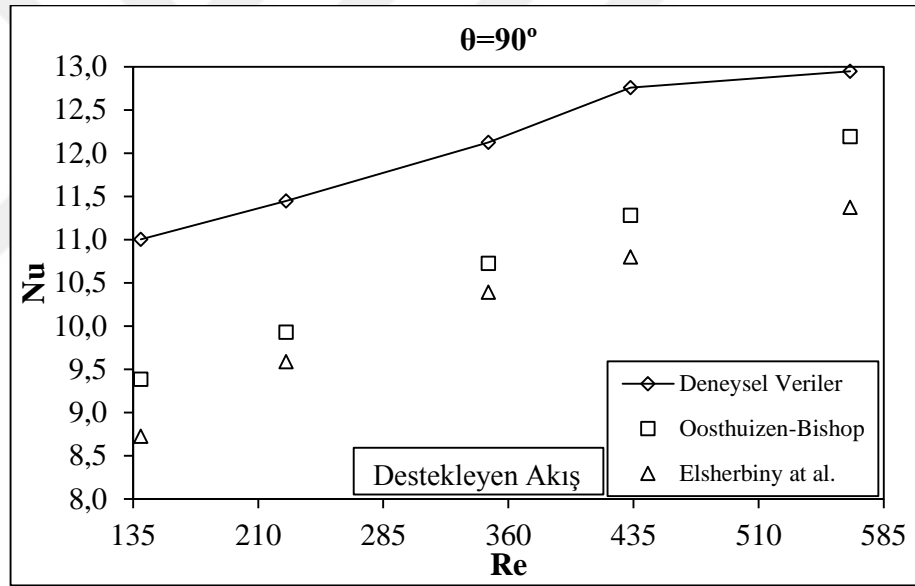
$$Nu_{corr} = \left[Nu_n^{4,72} + Nu_f^{4,72} \right]^{\frac{1}{4,72}} \quad (4.8)$$



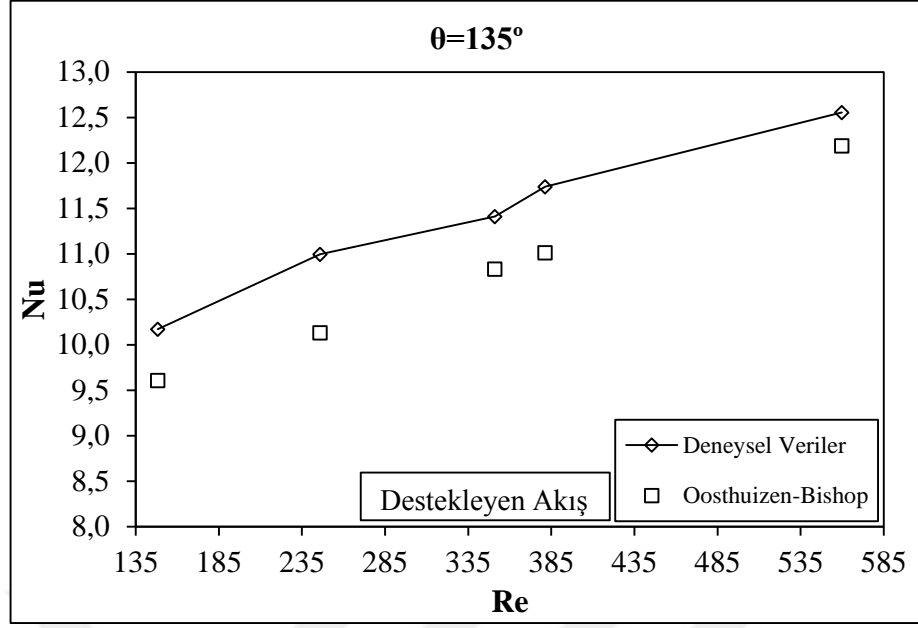
Şekil 4.1. 0° Kanal eğim açısında modeller ile deney sonuçları ilişkisi



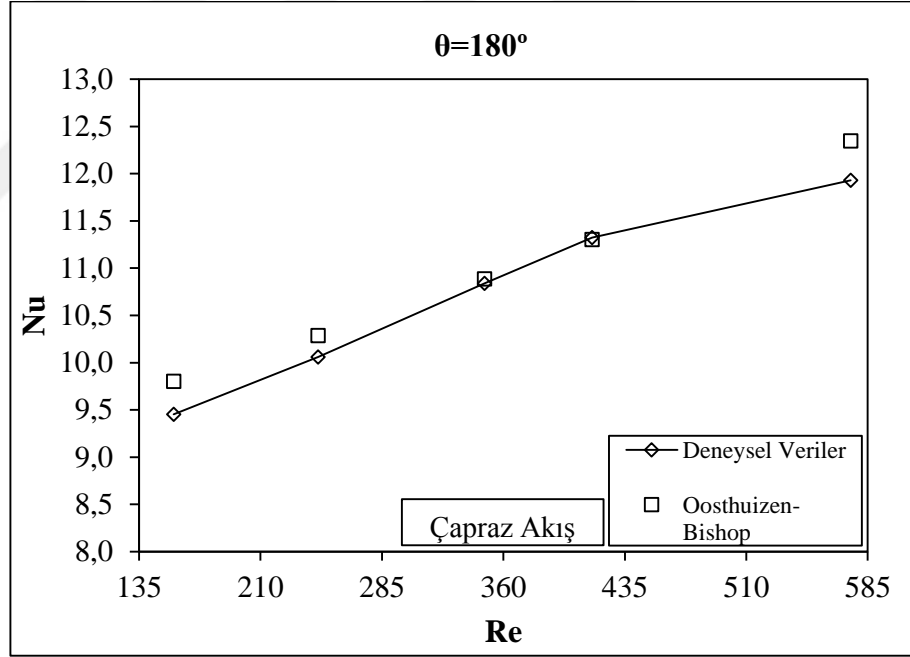
Şekil 4.2. 45° Kanal eğim açısında modeller ile deney sonuçları ilişkisi



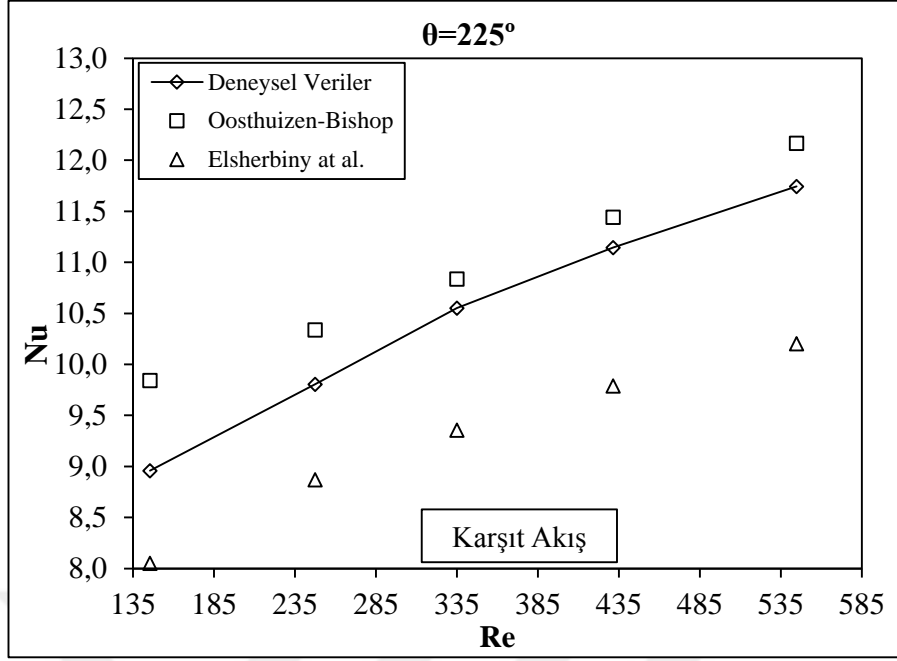
Şekil 4.3. 90° Kanal eğim açısında modeller ile deney sonuçları ilişkisi



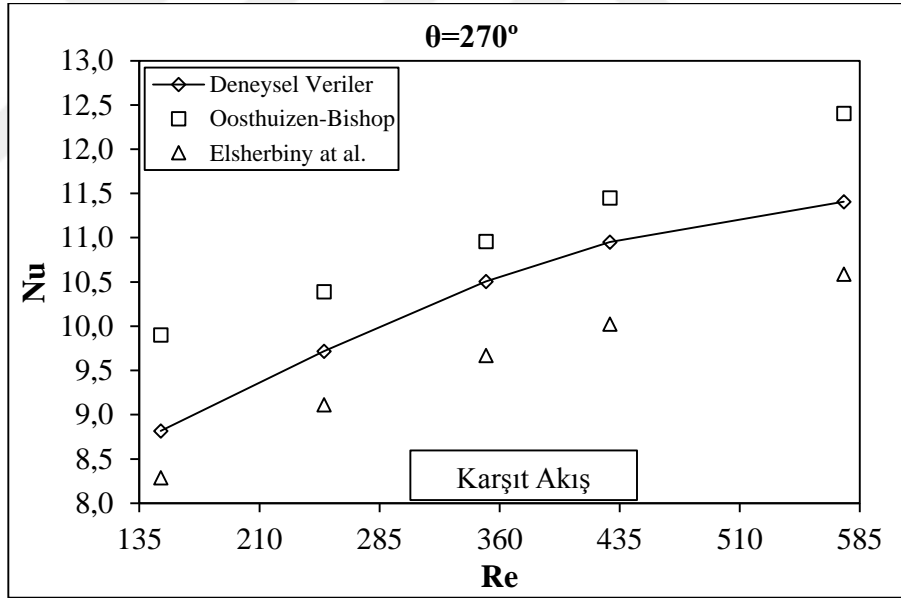
Şekil 4.4. 135° Kanal eğim açısında modeller ile deney sonuçları ilişkisi



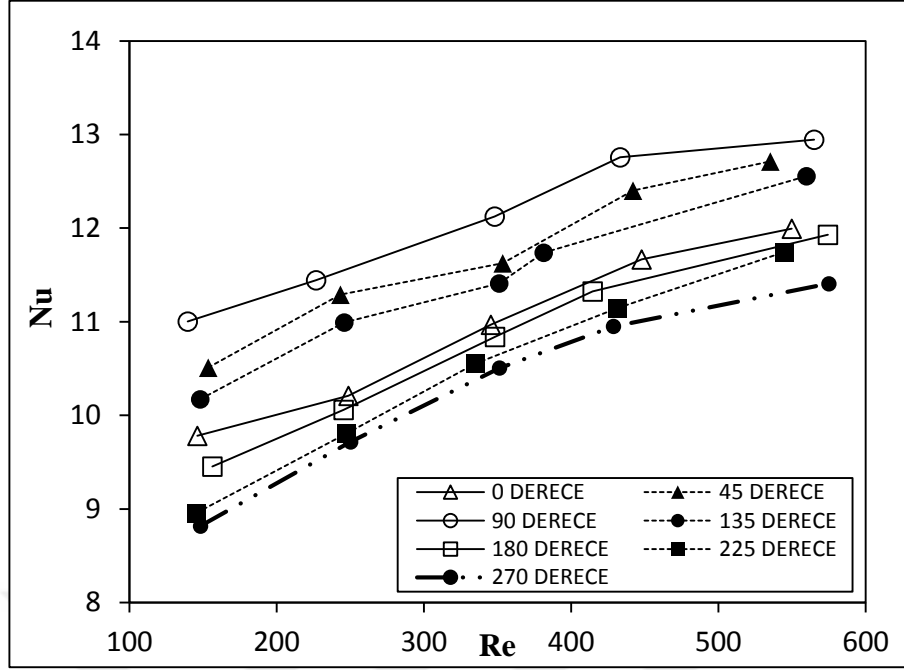
Şekil 4.5. 180° Kanal eğim açısında modeller ile deney sonuçları ilişkisi



Şekil 4.6. 225° Kanal eğim açısında modeller ile deney sonuçları ilişkisi



Şekil 4.7. 270° Kanal eğim açısında modeller ile deney sonuçları ilişkisi



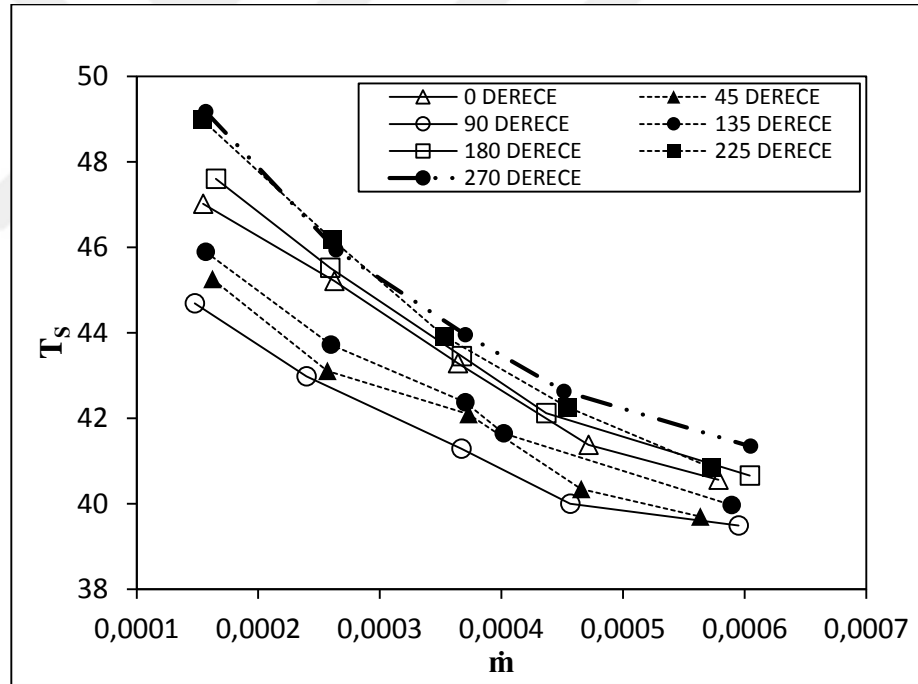
Şekil 4.8. Tüm açılarda Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki

Şekil 4.8'de Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi farklı açı değerleri için verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere beklenildiği gibi Nusselt sayısı Reynolds sayısı ile artmaktadır. En yüksek ısı transferi, açının 90° olduğu durumda elde edilmiştir. Bu durum kaldırma kuvvetlerinin atalet kuvvetleri ile aynı yönde olması nedeniyle ısıtılan yüzeye yakın bölgede akış hızının artmasından kaynaklanmaktadır. Başka bir ifadeyle zorlanmış taşınım hareketleri, yüzey üzerinde doğal taşınımı desteklemektedir. Isıtılan yüzeyin yatayla 45° lik açı yapması durumunda, kaldırma kuvvetleri akışı yüzey üzerinden ayırıp gaz sütunları oluşturmaya çalışırken, akışla aynı yönlü zorlanmış kuvvetleri yüzey üzerinde bir sınır tabaka oluşturmaktadır. Bu durumda kaldırma kuvvetleri nedeniyle eğik yüzeye yakın bölgede akış hızını düşey duruma göre azaltmaktadır. Bu azalma ısı transferinin düşey duruma göre azalmasına neden olmaktadır. Açının 135° olduğu durumda, doğal taşınımdan kaynaklanan kaldırma kuvvetleri hareketi sağlayan zorlanmış taşınım kuvvetlerini yüzeye yakın bölgede kısmen bloke etmekte ve ısı transferinin 45° lik duruma göre azalmasına yol açmaktadır.

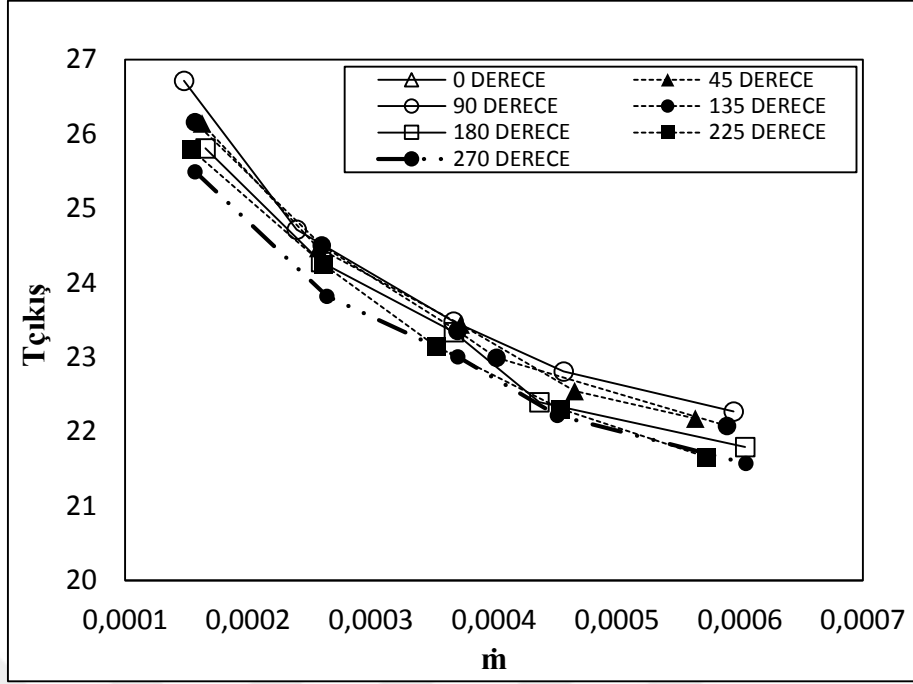
Plakanın yatay olduğu $\theta=0^\circ$ durumunda (çapraz akış durumu), doğal taşınım kaynaklı ikincil akışlar ana akışa dik ve yukarı yönlü olduğundan plaka üzerinde akışı destekleyen akış durumuna göre daha fazla bozmaktadır. Böylelikle plaka üzerinde hızın destekleyen akış durumuna göre düşmesine sebep olmakta ve ısı transferini

azaltmaktadır. Bu konumun tersi olan $\theta=180^\circ$ için ise, doğal taşınım kaynaklı ikincil akışlar yüzeye dik yönde ve yüzeye doğrudur. Yüzey konumu nedeniyle ikincil akışların yukarı yönlü hareketine müsaade etmemektedir. İkincil akışlar levha üzerinde yatay olarak hareket etmek durumunda kalacaktır. Bu nedenle taşınım ile ısı transferinin etkisi azalmaktadır.

Açının 225° ve 270° olması durumunda (karşit akış durumu) doğal taşınım kaynaklı kaldırma kuvvetleri ana akışla ters yönlü olduğundan dolayı ısıtılmış yüzey yakınında hızın önemli ölçüde azalmasına ve ısı transferinin düşmesine neden olmaktadır. Yukarıda yorumlanan destekleyen ve çapraz akış durumlarında kaldırma kuvvetleri ısı geçişini artırıcı yönde, karşit akış durumlarında ise ısı geçişini azaltıcı yönde etki etmektedir. Bu nedenle en düşük ısı transferi 225° ve 270° 'lik açılarda meydana gelmiştir.

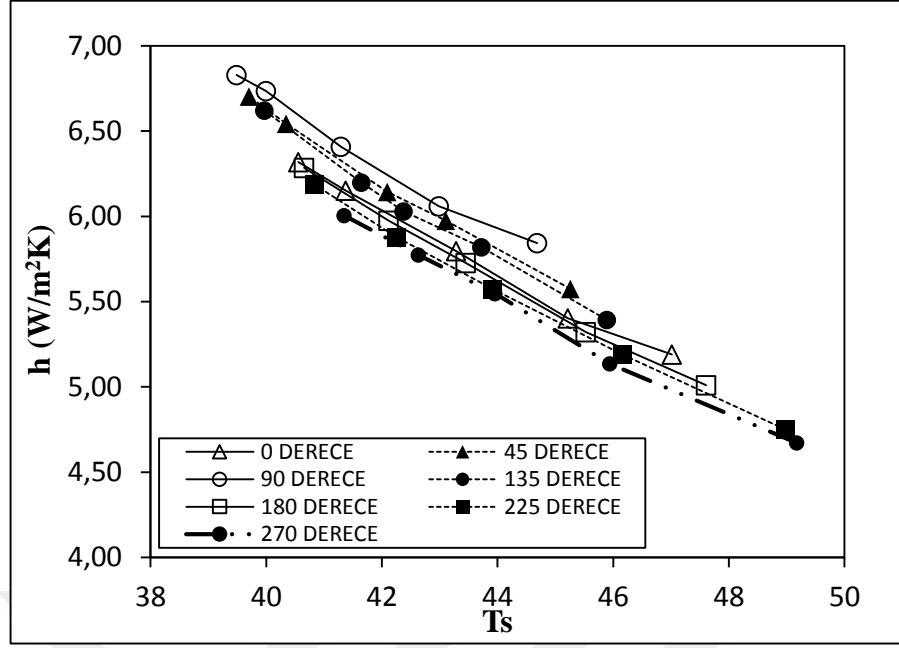


Şekil 4.9. Tüm açılarda T_s (yüzey sıcaklığı) ile \dot{m} (kütlesel debi) ilişkisi



Şekil 4.10. Tüm açılarda Tçıkış ile \dot{m} (kütlesel debi) ilişkisi

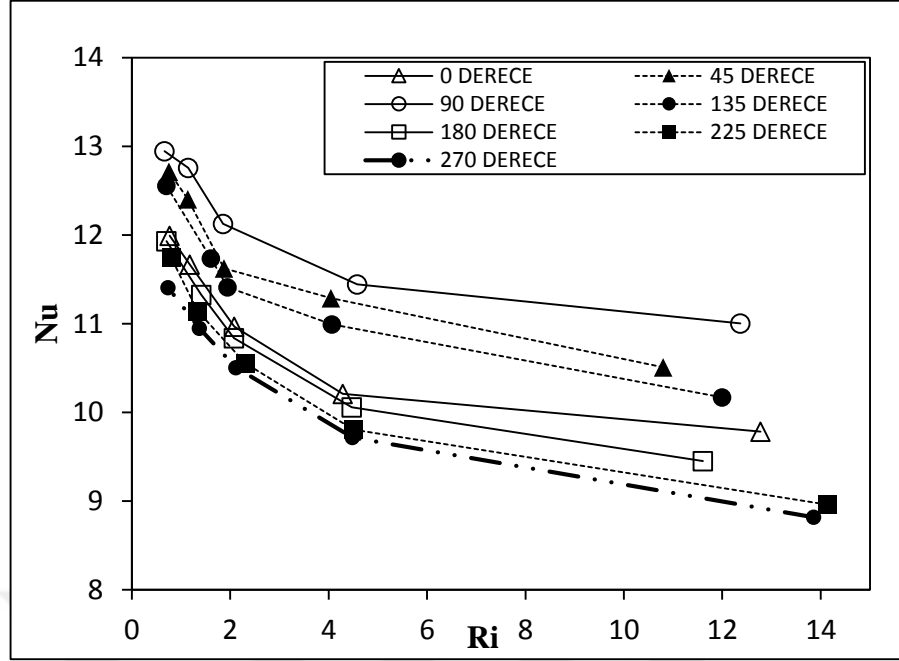
Şekil 4.9 ve 4.10'da sırasıyla, ısıtılan plakanın yüzey sıcaklığı ve akışkanın test bölgesinden çıkış sıcaklığının kütlesel debiyle değişimleri görülmektedir. Şekil 4.10'da görüldüğü üzere, plakanın en düşük yüzey sıcaklığı ısı transferinin en yüksek olduğu durum olan $\theta=90^\circ$ için elde edilmiştir. En yüksek sıcaklık ise ısı transferinin en düşük olduğu $\theta=270^\circ$ için elde edilmiştir. Bu durum Şekil 4.8'deki fiziksel mekanizmaları da doğrulamaktadır.



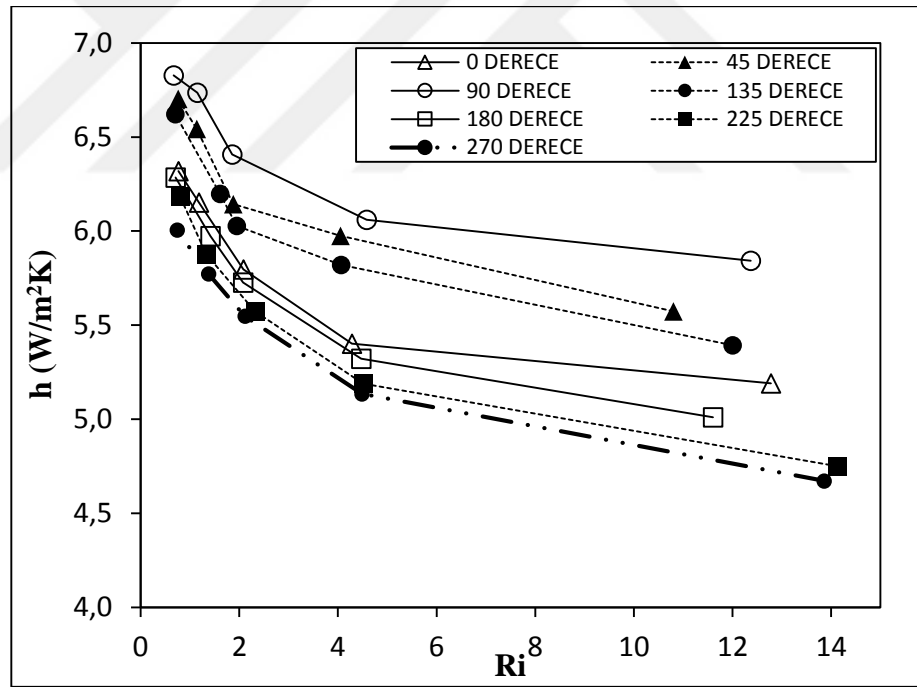
Şekil 4.11. Tüm açılarda taşınım katsayısı "h" ile Ts ilişkisi

Şekil 4.11'de ısı taşınım katsayısı ile yüzey sıcaklığının değişimi verilmektedir. Isı transferiyle ısıtıcı yüzey sıcaklığı arasındaki ilişki bu grafikten de görülmektedir.

Benzer şekilde yüzeyden taşınım ile olan ısı transferinin en yüksek olduğu yüzey konumunda akışkan çıkış sıcaklığının da diğer konumlandırmalara göre daha yüksek olduğu değerlendirilmektedir. Öte yandan kütle debinin artmasıyla yüzeyden alınan enerji daha fazla akışkan molekülüne transfer edildiğinden dolayı akışkan çıkış sıcaklığı kütle debisiyle azalmaktadır. Bu durumda, en yüksek akışkan çıkış sıcaklığının $\theta=90^\circ$ olduğu durumda, en düşük akışkan çıkış sıcaklığının ise $\theta=270^\circ$ olduğu durumda elde edilmiştir.



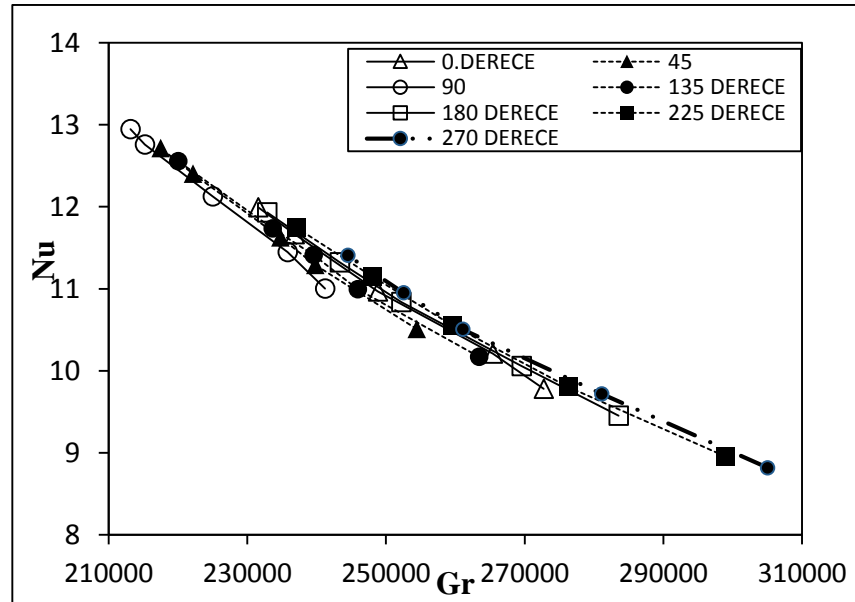
Şekil 4.12. Tüm açılarda Nusselt sayısı ile Richardson sayısı ilişkisi



Şekil 4.13. Tüm açılarda h (taşınım katsayısı) ile Richardson sayısı ilişkisi

Şekil 4.12'de Nusselt sayısının Richardson sayısı ile değişimleri farklı açı durumları için gösterilmiştir. Richardson sayısı Grashof sayısının Reynolds sayısının karesine oranlanmasıyla elde edilen bir boyutsuz sayıdır. Isı transferinde Richardson sayısı kaldırma ve atalet kuvvetlerinin birbirine göre oransal durumunu ifade etmektedir.

Richardson sayısının 0,1'den küçük olduğu durumlar için doğal taşınım etkileri ihmal edilirken zorlanmış taşınım etkileri dikkate alınmalıdır. Richardson sayısı 0,1 ile 10 arasında olduğunda hem atalet kuvvetleri hem de kaldırma kuvvetleri ısı taşınım mekanizmasında etkin rol oynamaktadır. Başka bir ifadeyle hem zorlanmış taşınım hem de doğal taşınım bileşenleri dikkate alınmalıdır. Richardson sayısının 10'dan büyük olduğu durumlarda ise kaldırma kuvvetleri atalet kuvvetlerinden çok daha baskındır ve zorlanmış taşınım etkilerinin ihmal edilebilir. Şekilden Richardson sayısının değerlerine bakılarak, çalışılan bütün durumlarda hem zorlanmış taşınım hem de doğal taşınım etkilerinin dikkate alınması gerektiği söylenebilir. Şekilden görüldüğü üzere Richardson sayısındaki azalmayla Nusselt sayısının arttığı görülmektedir. Richardson sayısının azalması atalet kuvvetlerinin kaldırma kuvvetlerine nazaran önem kazanmasıyla gerçekleşir. Atalet kuvvetlerinin artışı ise ana akış hızının artmasıyla mümkündür ve bu artış ısı transferinin dolayısıyla Nusselt sayısının artmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak, aynı Richardson sayılarında en yüksek akışkan Nusselt sayısının $\theta=90^\circ$ olduğu durumda, en düşük Nusselt sayısının ise $\theta=270^\circ$ olduğu durumda elde edildiği görülmektedir. Nusselt sayısı ile Richardson sayısı arasındaki ilişki Şekil 4.13'de ısı taşınım katsayısı ile Richardson sayısı için verilmiştir. Isı taşınım katsayısındaki değerlendirmeler Nusselt sayısındaki fiziksel değerlendirmeler ile benzerdir.



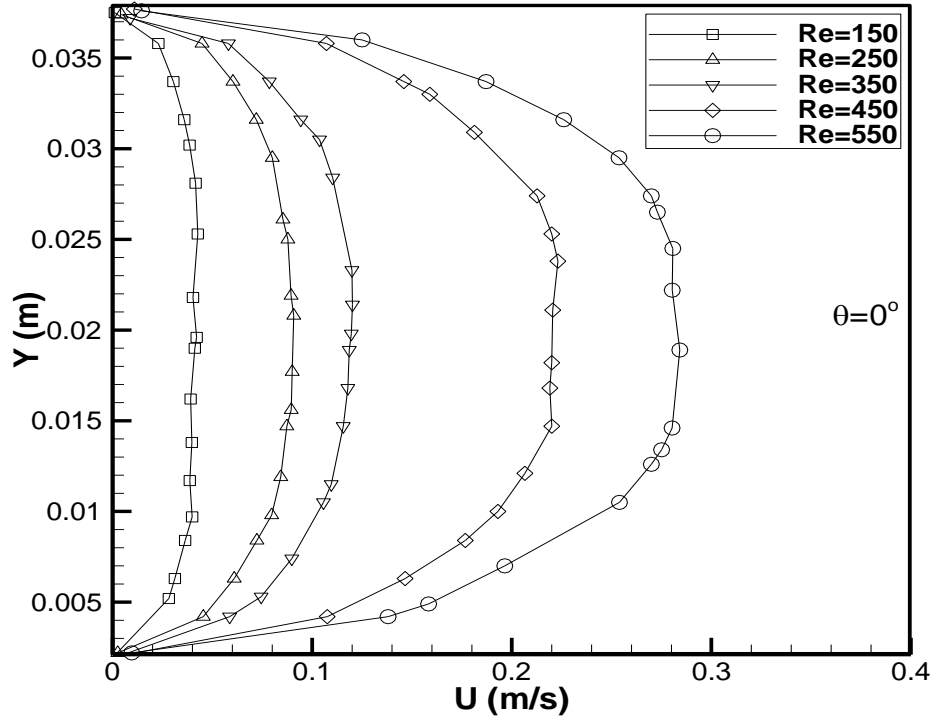
Şekil 4.14. Tüm açılarda Nusselt sayısı ile Grashof sayısı ilişkisi

Şekil 4.14'de toplam Nusselt sayısının Grashof sayısı ile değişimleri farklı açı durumları için gösterilmektedir. Grashof sayısı arttıkça Nusselt sayısı azalmaktadır. Artan Grashof sayısı kaldırma kuvvetlerinin arttığını göstermektedir. Kaldırma kuvvetlerinin artması ise yüzey sıcaklıkları ile ortalama akışkan sıcaklığı arasındaki farkın artmasından kaynaklanmaktadır. Yüzey ile akışkan arasındaki sıcaklık farkının artması kaldırma kuvvetlerini artırırken toplam ısı transferinin azalmasına, dolayısıyla Nusselt sayısının da azalmasına yol açmaktadır. En yüksek Nusselt sayısı en düşük Grashof sayısında elde edilmiştir.

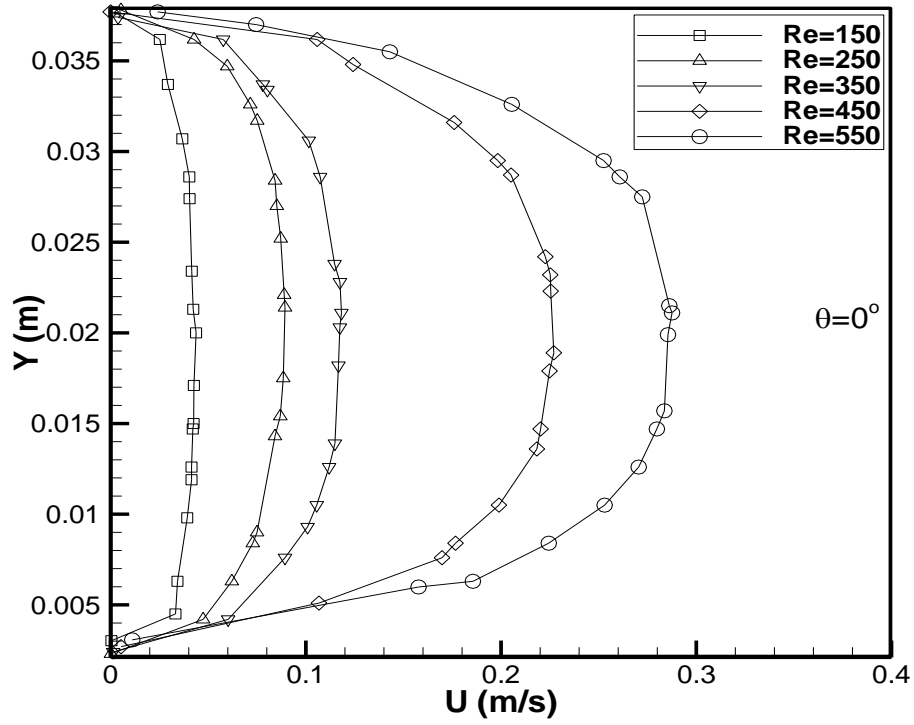
4.2. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği Sonuçları

Yapılan deneylerde parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği ile elde edilmiş farklı açı durumları için hız dağılımları sunulmuştur. Hız vektörleri ve hız vektörlerine çizilen teğetlerle elde edilen akım çizgileri boş kanalda ısıtılmış bir plaka yüzeyindeki kaldırma kuvvetlerinin etkisi ile ilgili fark edilir bir bilgi kaldırma kuvvetlerinin farklı Reynolds sayıları ve açı durumlarında hız profilleri üzerindeki etkilerinin ısıtılmış plaka yüzeyinde görülebilmesi için, test bölgesinin girişinde ($x/L=0$ ve $y/L=0$), plakanın orta kısmında ($x/L=0,5$, $y/L=0,5$) ve plakanın sonunda ($x/L=1$ ve $y/L=1$) hız dağılımları elde edilmiştir. L ısıtılmış plaka uzunluğu olup, x ve y ise yatay ve düşey yöndeki konum değişkenleridir. Kaldırma kuvvetlerinin etkinliğinin görülebilmesi için Şekil 4.15, 4.16 ve 4.17'de çapraz akış durumu ($\theta=0^\circ$), Şekil 4.18, 4.19 ve 4.20'de destekleyen akış durumu ($\theta=90^\circ$) ve Şekil 4.21, 4.22 ve 4.23'de karşıt akış durumu ($\theta=270^\circ$) için dağılımlar sunulmuştur.

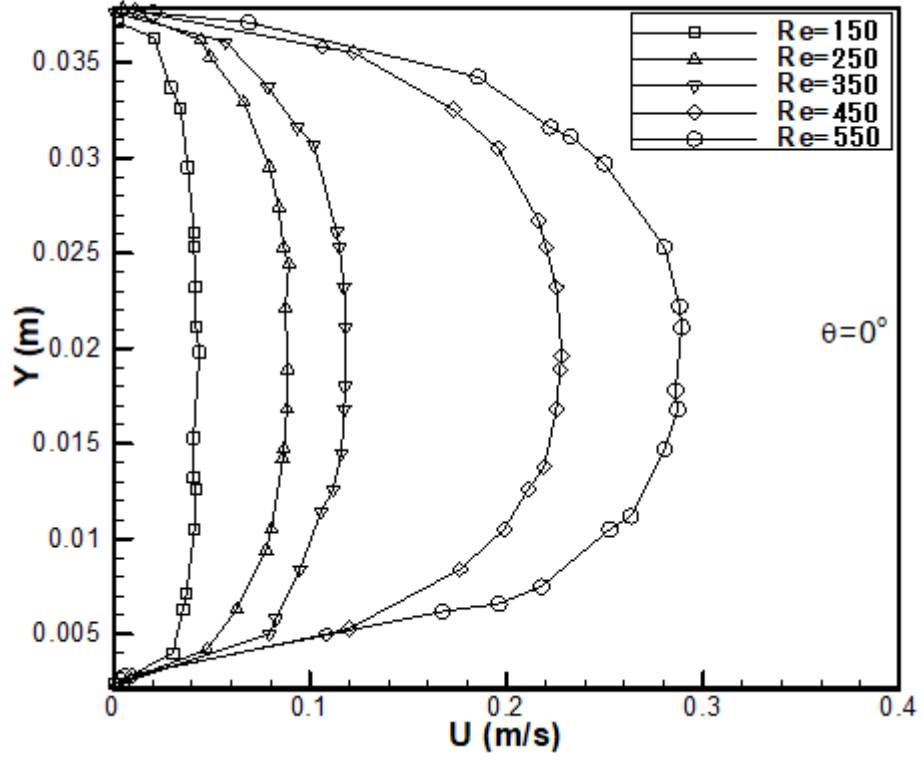
Çapraz akış durumu ($\theta=0^\circ$) için Şekil 4.15'de incelendiğinde, bütün Reynolds sayıları için plakanın hemen önünde beklenildiği gibi hız profili tam gelişmiş laminer akış hız profilidir. Reynolds sayısına bağlı olarak hız değerleri artan Reynolds sayısı ile artmaktadır. Şekil 4.16 incelendiğinde, plakanın ortasında hız profillerinin yukarı doğru kaydığı görülmektedir. Bu beklenen bir durumdur. Plakanın ısıtılmış yüzeyinin yukarı yönlü olduğu durumda kaldırma kuvvetleri yukarı yönlü (+ y yönünde) olacaktır. Zorlanmış akış ise kanal boyunca hareket ederken doğal taşınım kaynaklı ikincil akışlar tarafından yukarı doğru harekete zorlanmaktadır. Şekil 4.17'de buna benzer bir davranış söz konusudur.



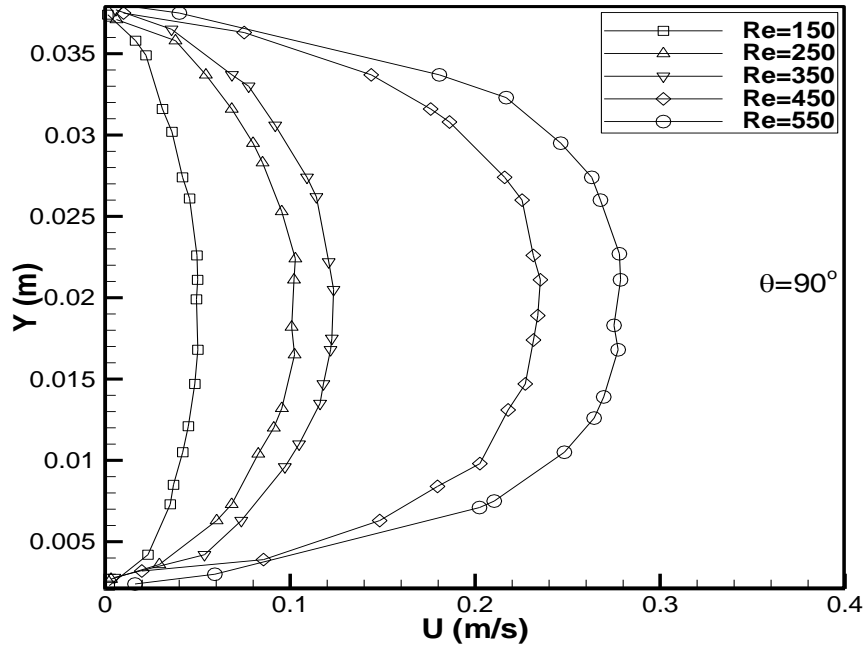
Şekil 4.15. 0° için test bölgesi girişinde ($x/L=0$) hız dağılımı



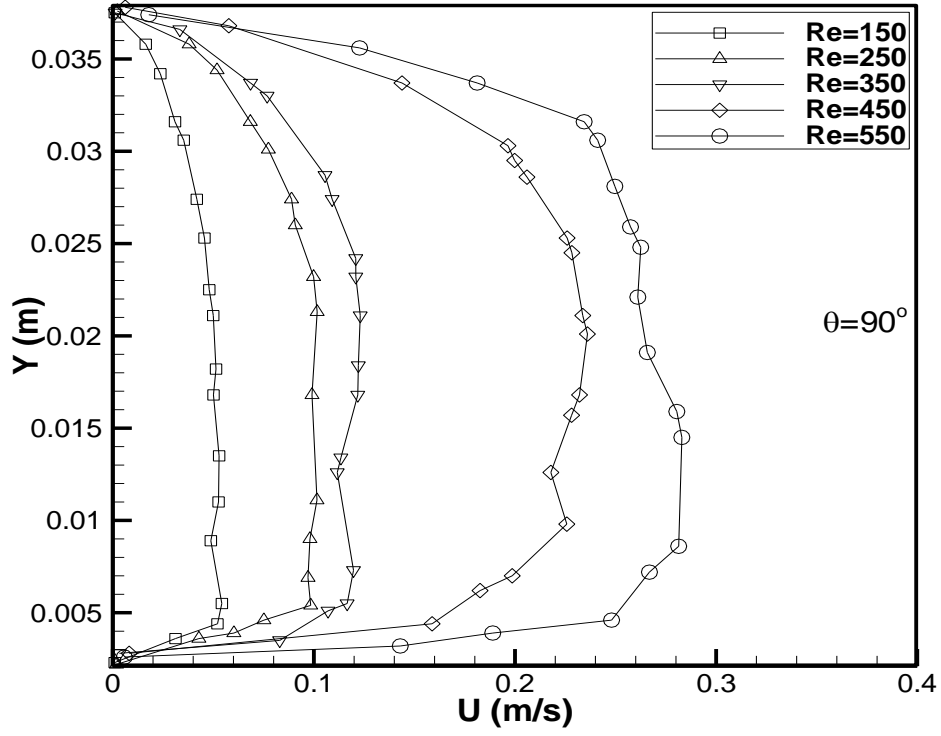
Şekil 4.16. 0° için test bölgesi ortasında ($x/L=0,5$) hız dağılımı



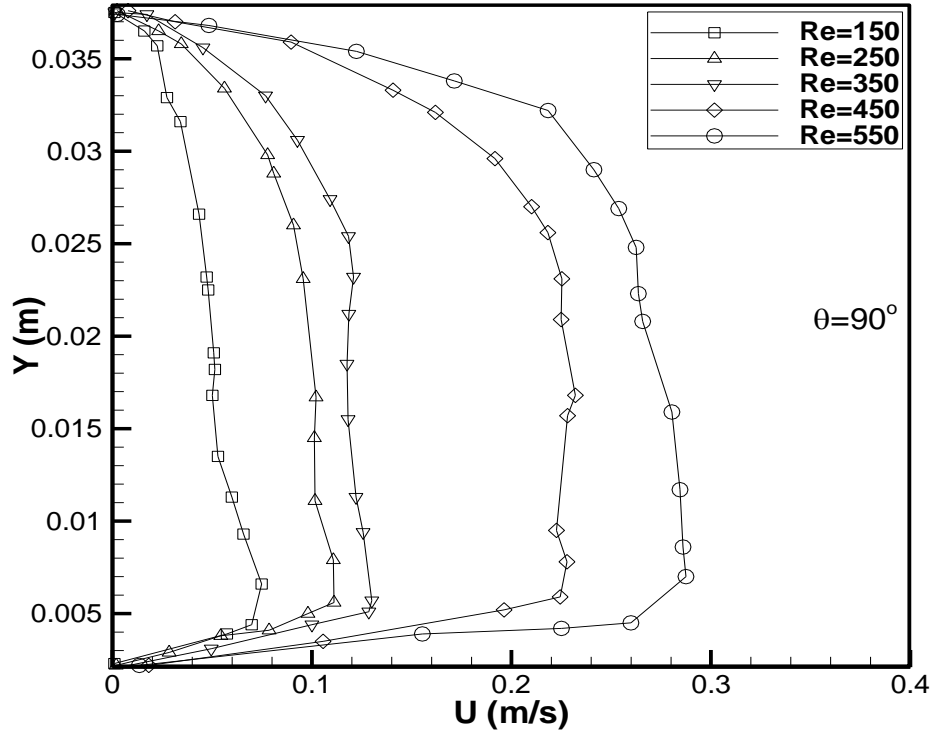
Şekil 4.17. 0° için test bölgesi sonunda ($x/L=1$) hız dağılımı



Şekil 4.18. 90° için test bölgesi girişinde ($y/L=0$) hız dağılımı

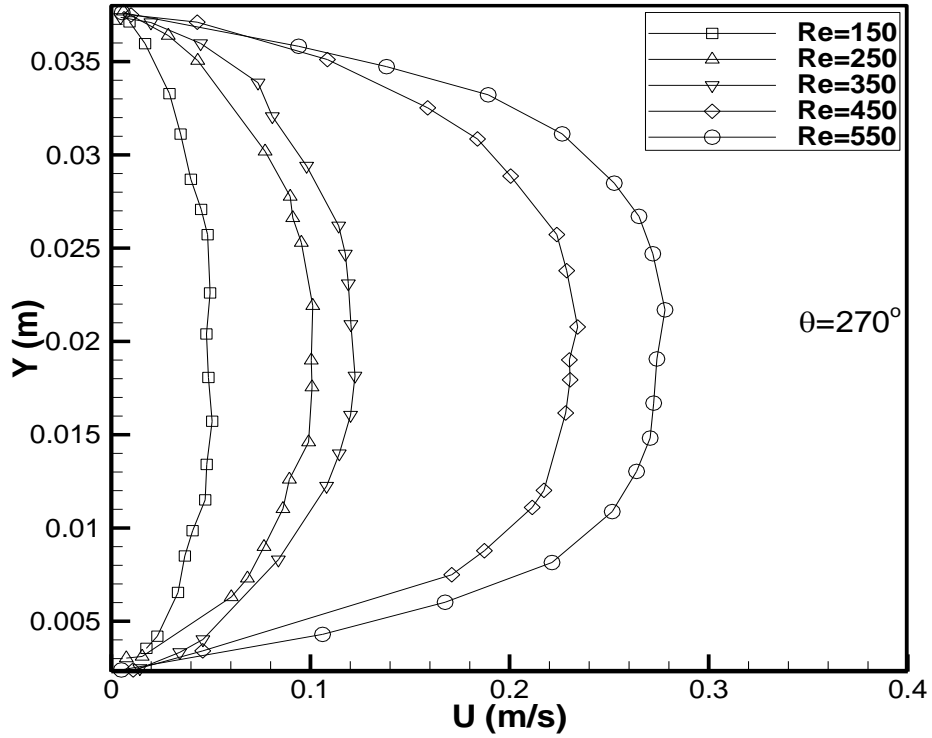


Şekil 4.19. 90° için test bölgesi ortasında ($y/L=0,5$) hız dağılımı

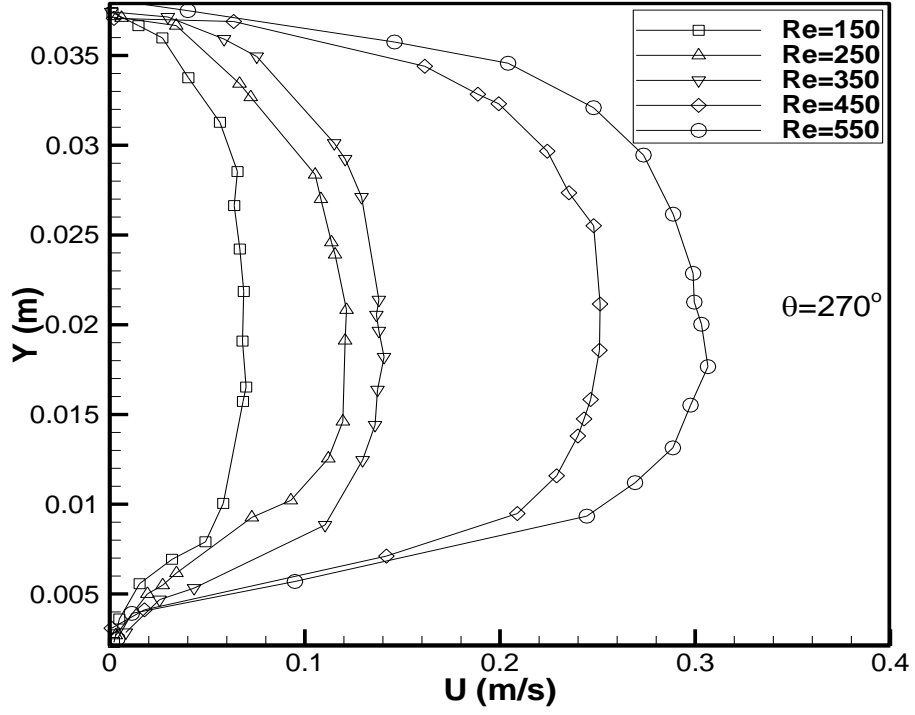


Şekil 4.20. 90° için test bölgesi sonunda ($y/L=1$) hız dağılımı

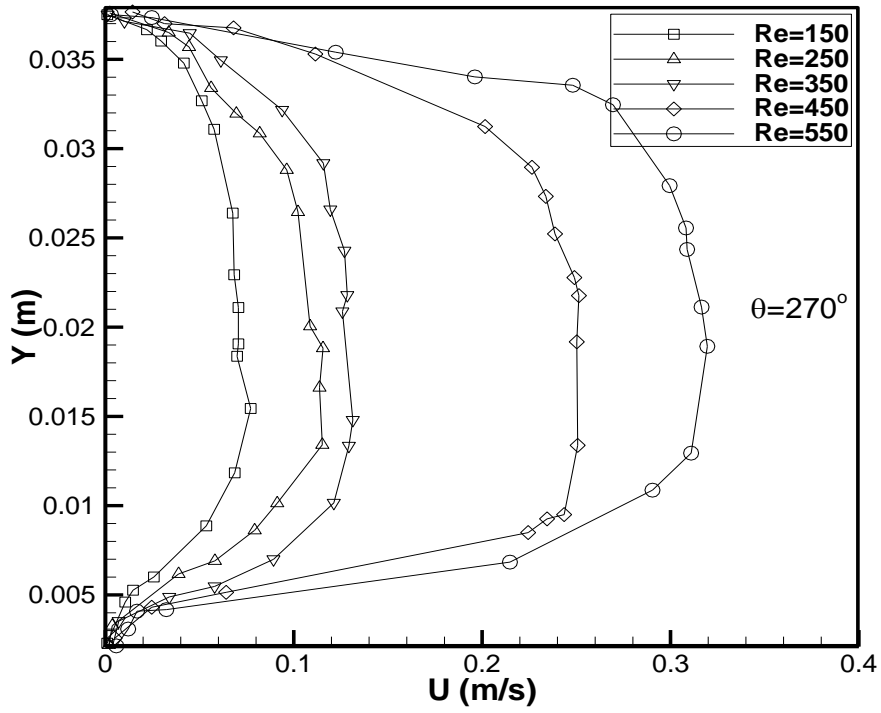
Şekil 4.18, 4.19 ve 4.20’de ise plakanın düşey konumda olduğu doğal taşınım akımlarının zorlanmış akışla aynı yönde olduğu destekleyen akış durumu için hız dağılımları sunulmuştur. Plakanın hemen önünde (test bölgesi girişinde), hız profilleri bütün Reynolds sayıları için tam gelişmiş laminar akış hız profili formundadır. Ancak, test bölgesini ortasında ($y/L=0,5$) Şekil 4.19’den da görüldüğü üzere yüzeye yakın bölgede hızın değeri artmakta ve girişteki simetrik profil yapısı bozulmaktadır. Plakanın düşey konumda olduğu bu durumda ikincil akışlar yukarı yönlüdür (+y yönünde) ve zorlanmış akışla aynı yönlüdür. Isıtılmış plaka yüzeyine yakın bölgede zorlanmış akışla aynı yönlü ikincil akışlar akışkana uygulanan momentumu arttırmakta, bu durum hızın yüzey yakınında artmasına neden olmaktadır. Şekil 4.19 ve 4.20 incelendiğinde, farklı Reynolds sayıları için ısıtılmış yüzeye yakın bölgedeki hız değerlerinin ısıtılmamış karşı yüzeydekenden daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.21. 270° için test bölgesi girişinde ($y/L=0$) hız dağılımı



Şekil 4.22. 270° için test bölgesi ortasında ($y/L=0,5$) hız dağılımı



Şekil 4.23. 270° için test bölgesi sonunda ($y/L=1$) hız dağılımı

Şekil 4.21, 4.22 ve 4.23’de ise ısıtılmış plakanın düşey konumlandığı durumda doğal taşınım kaynaklı ikincil akışlar yukarı yönlü (+y yönünde), zorlanmış akış ise aşağı yönlüdür (-y yönünde). İkincil akışlar ve zorlanmış akışların zıt yönlerde olduğu bu karşıt akış durumundaki hız dağılımları plakanın hemen önünde ($y/L=0$) Şekil 4.21’de gösterildiği gibidir. Kanal girişindeki tam gelişmiş hız profili akışkanın ısıtılmış yüzeye temasından sonra değişmekte ve bu durum Şekil 4.22 ve 4.23’de görülmektedir. Isıtılmış yüzey yakınında yukarı yönlü ikincil akışlar destekleyen akışta tersine zorlanmış akışı yüzey yakınında bloke etmektedir. Bu engelleme neticesinde ısıtılmış yüzey yakınında hız değerleri bütün Reynolds sayıları için düşmekte ve ısıtılmamış karşı yüzey yakınındaki ne göre daha düşük değerler almasına neden olmaktadır.



5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında 40×60 mm olan pleksiglas bir hava kanalı içerisine yerleştirilen ve sabit ısı akısı ile ısıtılan bir yüzeyin farklı konumlarında karma taşınım şartlarında ısı transferi ve akış karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında hava kanalının açısı değiştirilerek hava akışının plakaya paralel olması sağlanmış, destekleyen ve karşıt akışlı doğal taşınım şartları incelenmiştir. Plakanın yatayla 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, ve 270° açı yaptığı durumlar göz önüne alınmıştır. Yüzey üzerinde oluşan hız profilleri Parçacık Hız Görüntüleme (PIV) yöntemiyle belirlenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Isıtılan yüzeyin üst tarafta bulunduğu yatay konum (0°) referans alındığında, en yüksek ısı transferi açının 90° olduğu durumda elde edilmiştir. Bu konumda ısıtılmış yüzeyin yukarı baktığı akış koşulları ile karşılaştırıldığında ısı transferinde ortalama %10'luk bir artış meydana gelmiştir. Bu durum kaldırma kuvvetlerinin atalet kuvvetleri ile aynı yönde olması nedeniyle ısıtılan yüzeye yakın bölgede akış hızının artmasından kaynaklanmaktadır. Başka bir ifadeyle zorlanmış taşınım hareketleri yüzey üzerinde doğal taşınımı desteklemektedir.

- Açının 135° olduğu durumda, doğal taşınımdan kaynaklanan kaldırma kuvvetleri hareketi sağlayan zorlanmış taşınım kuvvetlerini yüzeye yakın bölgede kısmen bloke etmekte ve ısı transferinin 45°'lik duruma göre azalmasına yol açmaktadır.
- Kanalın yatay olduğu $\theta=0^\circ$ durumunda (çapraz akış durumu), doğal taşınım kaynaklı ikincil akışlar ana akışa dik ve yukarı yönlü olduğundan plaka üzerinde akışı destekleyen akış durumuna göre daha fazla bozmaktadır. Böylelikle plaka üzerinde hızın destekleyen akış durumuna göre düşmesine sebep olmakta ve ısı transferini azaltmaktadır.
- Bu konumun tersi olan $\theta=180^\circ$ için ise, doğal taşınım kaynaklı ikincil akışlar yüzeye dik yönde ve yüzeye doğrudur. Yüzey konumu nedeniyle ikincil akışların yukarı yönlü hareketine müsaade etmemektedir. İkincil akışlar levha üzerinde yatay olarak hareket etmek durumunda kalacaktır. Bu nedenle taşınım ile ısı transferinin etkisi azalmaktadır. Isıtılan yüzeyin alt tarafta kaldığı bu konumda ısı transferi üst yüzeyde

kaldığı duruma göre yaklaşık % 2'lik bir azalma göstermiştir.

- Açının 225° ve 270° olması durumunda (karşıt akış durumu) doğal taşınım kaynaklı kaldırma kuvvetleri, ana akışla ters yönlü olduğundan dolayı ısıtılmış yüzey yakınında hızın önemli ölçüde azalmasına ve ısı transferinin düşmesine neden olmaktadır. En düşük ısı transferi 225° ve 270° 'lik açılarda meydana gelmiştir. 270° 'lik konumlamada ısı transferi 0° 'ye göre ortalama %6'lık bir azalma göstermiştir.
- Kanal çıkışındaki akışkan sıcaklıkları dikkate alındığında en yüksek akışkan çıkış sıcaklığının $\theta = 90^\circ$ olduğu durumda, en düşük akışkan çıkış sıcaklığının ise $\theta = 270^\circ$ olduğu durumda elde edilmiştir.
- Aynı Richardson sayılarında en yüksek akışkan Nusselt sayısının $\theta = 90^\circ$ olduğu durumda, en düşük Nusselt sayısının ise $\theta = 270^\circ$ olduğu durumda elde edilmiştir.
- Çalışmanın gerçekleştirildiği bütün Reynolds sayıları için plakanın hemen önünde beklenildiği gibi hız profili tam gelişmiş laminer akış hız profilidir. Plakanın ısıtılmış yüzeyinin yukarı yönlü olduğu durumda kaldırma kuvvetleri yukarı yönlü (+y yönünde) olmuştur. Zorlanmış akış ise kanal boyunca hareket ederken doğal taşınım kaynaklı ikincil akışlar tarafından yukarı doğru harekete zorlanmaktadır.
- Doğal taşınım akımlarının zorlanmış akışla aynı yönde olduğu destekleyen akış durumu için test bölgesini ortasında ($y/L=0,5$) yüzeye yakın bölgede hızın değeri artmakta ve girişteki simetrik profil yapısı bozulmaktadır. Karşıt akış durumunda ise ısıtılmış yüzey yakınında yukarı yönlü ikincil akışlar destekleyen akıştağının tersine zorlanmış akışı yüzey yakınında bloke etmektedir. Bu engelleme neticesinde ısıtılmış yüzey yakınında hız değerleri bütün Reynolds sayıları için düşmekte ve ısıtılmamış karşı yüzey yakınındaki ne göre daha düşük değerler almasına neden olmaktadır.

Bundan sonraki çalışmalarda ele alınan yüzeye farklı geometrilerde pasif iyileşme elemanları konularak akış yapıları PIV yöntemi ile detaylı incelenebilir, ısı transferi ve akış karakteristikleri arasında kurulacak korelasyondan yararlanarak optimum geometriler belirlenebilir. Özellikle doğal taşınımın söz konusu olduğu sistemler için

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

optimum geometrik boyutların elde edilmesi tasarım ve işletme için önem arz etmektedir. Ayrıca farklı geometriler için karma taşıma şartlarını sayısal olarak geniş bir aralıkta incelenmesi de sağlanabilir.



KAYNAKLAR

- Abdelmassih, G., Vernet, A., & Pallares, J. (2016). Steady and unsteady mixed convection flow in a cubical open cavity with the bottom wall heated. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 101, 682-691.
- Akbari, M., Behzadmehr, A., and Shahraki, F. 2008. Fully developed mixed convection in horizontal and inclined tubes with uniform heat flux using nanofluid. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 29(2): 545-556. Elsevier.
- Anjali Devi, S. P., & Suriyakumar, P. (2013, September). Numerical investigation of mixed convective hydromagnetic nonlinear nanofluid flow past an inclined plate. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1557, No. 1, pp. 281-285). AIP.
- Arslan, K., Onur, N., & Turgut, O. (2010). Experimental and three-dimensional numerical investigation of laminar flow heat transfer in a rectangular duct under uniform bottom surface temperature with developing velocity and temperature fields. *HEFAT 2010*.
- Bae, B., Ahn, T., Jeong, J., Kim, K., & Yun, B. (2017). Characteristics of an interfacial wave in a horizontal air-water stratified flow. *International Journal of Multiphase Flow*, 97, 197-205.
- Ben-Abdallah, P. 2006. Heat transfer through near-field interactions in nanofluids. *Applied physics letters*, 89(11): 113117. AIP.
- Cely, M. M. H., Baptistella, V. E., & Rodriguez, O. M. (2018). Study and characterization of gas-liquid slug flow in an annular duct, using high speed video camera, wire-mesh sensor and PIV. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 98, 563-575.
- Chaurasia, N. K., Gedupudi, S., & Venkateshan, S. P. (2019). Studies on Three-Dimensional Mixed Convection with Surface Radiation in a Rectangular Channel with Discrete Heat Sources. *Heat Transfer Engineering*, 40(1-2), 66-80.
- Chaurasia, N. K., Gedupudi, S., & Venkateshan, S. P. (2019). Studies on Three-Dimensional Mixed Convection with Surface Radiation in a Rectangular Channel with Discrete Heat Sources. *Heat Transfer Engineering*, 40(1-2), 66-80.
- Chong, D., Liu, J., Yan, J., & Zhou, Z. (2007). Experimental investigation of mixed convection in a rectangular duct with a heated plate in the middle of cross section. *Heat and Mass Transfer*, 43(12), 1283.
- Coletti, F., Cresci, I., & Arts, T. (2012, June). Time-resolved PIV measurements of turbulent flow in rotating rib-roughened channel with coriolis and buoyancy forces. In *ASME Turbo Expo 2012: Turbine Technical Conference and Exposition* (pp. 553-562). American Society of Mechanical Engineers.
- Contreras, H., Treviño, C., Lizardi, J., & Martínez-Suástegui, L. (2019). Stereoscopic TR-PIV measurements of mixed convection flow in a vertical channel with an open cavity with discrete heating. *International Journal of Mechanical Sciences*, 150, 427-444.
- Çengel, Y. A., Tanyıldızı, V., & Dağtekin, İ. (2011). *Isı ve kütle transferi. Güven Kitabevi*.

- Dalkılıç, A. S., Kürekci, N. A., & Atayılmaz, S. O. (2009, January). Experimental Research on the Comparison of LDA and PIV Measuring Systems for the Determination of the Air Velocity Inside a Square Channel. In ASME 2009 International Mechanical Engineering Congress and Exposition (pp. 1853-1866). American Society of Mechanical Engineers.
- Doucet, D. J., Henning, J. C., Sastry, S., Abramson, A. R., & Kadambi, J. R. (2012, July). PIV Measurements of Air Flow Velocity Profile in Microchannels. In ASME 2012 10th International Conference on Nanochannels, Microchannels, and Minichannels collocated with the ASME 2012 Heat Transfer Summer Conference and the ASME 2012 Fluids Engineering Division Summer Meeting (pp. 807-815). American Society of Mechanical Engineers.
- Elatar, A. (2013). Channel Flow Behaviour During Mixed Convection at Low Reynolds Numbers.
- Elatar, A., & Siddiqui, K. (2014). The influence of bottom wall heating on the mean and turbulent flow behavior in the near wall region during mixed convection. *International Journal of Thermal Sciences*, 77, 233-243.
- Elatar, A., & Siddiqui, K. (2014, August). Characteristics of Coherent Structures in Channel Flows During Low Reynolds Number Mixed Convection. In ASME 2014 4th Joint US-European Fluids Engineering Division Summer Meeting collocated with the ASME 2014 12th International Conference on Nanochannels, Microchannels, and Minichannels (pp. V01DT27A014-V01DT27A014). American Society of Mechanical Engineers.
- Elsherbiny, S. M., Teamah, M. A., & Moussa, A. R. (2017). Experimental mixed convection heat transfer from an isothermal horizontal square cylinder. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 82, 459-471.
- Fujikami, K., Takeda, T., & Funatani, S. (2018, July). Heat Transfer and Fluid Flow Characteristics of One Side Heated Vertical Rectangular Channel Applied As Vessel Cooling System of VHTR. In 2018 26th International Conference on Nuclear Engineering (pp. V009T16A046-V009T16A046). American Society of Mechanical Engineers.
- Gajusingh, S. T., & Siddiqui, M. K. (2008). The influence of wal heating on the flow structure in the near-wall region. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 29(4), 903-915.
- Guo, F., Chen, B., Guo, L., & Zhang, X. (2010). Investigation of turbulent mixing layer flow in a vertical water channel by particle image velocimetry (PIV). *The Canadian journal of chemical engineering*, 88(6), 919-928.
- Hoagland, L. C. (1962). Fully developed turbulent flow in straight rectangular ducts: secondary flow, its cause and effect on the primary flow (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- Huang, C. C., & Lin, T. F. (1995). Vortex flow and thermal characteristics in mixed convection of air in a horizontal rectangular duct: effects of the Reynolds and Grashof numbers. *International journal of heat and mass transfer*, 38(9), 1661-1674.
- Hunt, I.A., Joubert, P.N., 1977. Turbulent Flow in a Rectangular Duct. 6th Australasian Hydraulc and Fluid Mechanics Conference, 5-9 December, Adelaide, Australia.

- Incropera, F. and Dewitt P.D., 1996, Introduction to heat transfer John Wiley & Sons.Inc., (Third Edition).
- Incropera, F. P., Dewitt, D. P., & Derbentli, T. (2010). Isı ve kütle geçişinin temelleri. Literatür Yayıncılık.
- Islam, N., Gaitonde, U.N., and Sharma, G.K. 2001. Mixed convection heat transfer in the entrance region of horizontal annuli. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 44(11): 2107–2120. Elsevier.
- Izadi, M., Shahmardan, M.M., Maghrebi, M.J., and Behzadmehr, A. 2013. Numerical study of developed laminar mixed convection of Al₂O₃/water nanofluid in an annulus. *Chemical Engineering Communications*, 200(7): 878–894. Taylor & Francis.
- Jones, O. C. (1976). An improvement in the calculation of turbulent friction in rectangular ducts. *Journal of Fluids Engineering*, 98(2), 173-180.
- Kang, B. H., Jaluria, Y., & Tewari, S. S. (1990). Mixed convection transport from an isolated heat source module on a horizontal plate. *Journal of heat transfer*, 112(3), 653-661.
- Lemanov, V. V., Sharov, K. A., & Gorinovich, N. V. (2018, March). Features of round air jet flowing at low Reynolds numbers. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 980, No. 1, p. 012028). IOP Publishing.
- Leong, J. C., Brown, N. M., & Lai, F. C. (2005). Mixed convection from an open cavity in a horizontal channel. *International communications in heat and mass transfer*, 32(5), 583-592.
- Li, K., Wang, S., Ke, Z., & Chen, C. L. (2019). A novel caudal-fin-inspired hourglass-shaped self-agitator for air-side heat transfer enhancement in plate-fin heat exchanger. *Energy Conversion and Management*, 187, 297-315.
- Lin, W. L., & Lin, T. F. (1996). Unstable aiding and opposing mixed convection of air in a bottom-heated rectangular duct slightly inclined from the horizontal. *Journal of heat transfer*, 118(1), 47-55.
- Mahaney, H. V., Incropera, F. P., & Ramadhyani, S. (1990). Comparison of predicted and measured mixed convection heat transfer from an array of discrete sources in a horizontal rectangular channel. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 33(6), 1233-1245.
- Mandev, E. 2019. Mikrokanallarda nanoakışkanların karma taşınımıyla ısı transferi karakteristiklerinin deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.
- Maughan, J. R., & Incropera, E. P. (1990). Fully developed mixed convection in a horizontal channel heated uniformly from above and below. *Numerical heat transfer*, 17(4), 417-430.
- Mey, T., Westhoff, A., & Wagner, C. (2013). Experimental Investigation of Flow Structure Formation in a Heated Duct Flow. In *New Results in Numerical and Experimental Fluid Mechanics VIII* (pp. 681-688). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Mikielewicz, D., Stasiak, A., Jewartowski, M., & Stasiak, J. (2012). Measurements of heat transfer enhanced by the use of transverse vortex generators. *Applied*

Thermal Engineering, 49, 61-72.

- Mirmasoumi, S., and Behzadmehr, A. 2008. Numerical study of laminar mixed convection of a nanofluid in a horizontal tube using two-phase mixture model. *Applied Thermal Engineering*, 28(7): 717–727. Elsevier
- Najam, M., Amahmid, A., Hasnaoui, M., & El Alami, M. (2003). Unsteady mixed convection in a horizontal channel with rectangular blocks periodically distributed on its lower wall. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 24(5), 726-735.
- Nishino, Y., Ishizuka, M., Nakagawa, S., & Hatakeyama, T. (2009). Effects of wall clearance of a vertical channel on natural air cooling capability. *Journal of Thermal Science and Technology*, 4(3), 372-381.
- Ničeno, B., Dronkers, A., & Hanjalić, K. (2002). Turbulent heat transfer from a multi-layered wall-mounted cube matrix: a large eddy simulation. *International Journal of Heat and fluid flow*, 23(2), 173-185.
- Oosthuizen, P., & Bishop, M. (1987, June). An experimental study of mixed convective heat transfer from square cylinders. In *22nd Thermophysics Conference* (p. 1592).
- Ozsunar, A., Baskaya, S., & Sivrioglu, M. (2001). Numerical analysis of Grashof number, Reynolds number and inclination effects on mixed convection heat transfer in rectangular channels. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 28(7), 985-994.
- Özsunar, A., Başkaya, Ş., & Sivrioğlu, M. (2000). Dikdörtgen Kesitli Bir Kanalda Laminer Karışık Konveksiyon Şartlarındaki Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15(1).
- Remsburg, R. (2000). *Thermal design of electronic equipment*. CRC press.
- Sarper, B., Saglam, M., & Aydin, O. (2018). Constructal Placement of Discrete Heat Sources With Different Lengths in Vertical Ducts Under Natural and Mixed Convection. *Journal of Heat Transfer*, 140(12), 121401.
- Schmeling, D., Westhoff, A., Kühn, M., Bosbach, J., & Wagner, C. (2011). Large-scale flow structures and heat transport of turbulent forced and mixed convection in a closed rectangular cavity. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 32(5), 889-900.
- Song, M., Huang, Y., Zhang, L., Wang, J., & Zan, Y. (2015). Experimental Observations on Wake Characteristics of a Rising Bubble in a Vertical Narrow Rectangular Channel. *Journal of Nuclear Engineering and Radiation Science*, 1(2), 021004.
- Stamatopoulos, C., Mathioulakis, D. S., & Katsamouris, A. (2011). Mixed convection flow investigation in a rectangular horizontal tube stenosis via liquid crystal thermography and planar PIV. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35(2), 375-386.
- Teamah, M.A., Sorour, M.M., and Saleh, R.A. 2005. Mixed convection between two horizontal concentric cylinders when the cooled outer cylinder is rotating. *Alexandria Eng. J*, 44: 347–360.
- Terekhov, V. I., Smulsky, J. I., Sharov, K. A., & Zolotukhin, A. V. (2018, March). Investigating the influence of cells with various geometric parameters on the air flow in the channel. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 980, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.

- Tian, C., Yan, M., Wang, J., Cao, X., Yan, C., & Yu, S. (2017). Experimental investigation of flow and heat transfer for natural circulation flow in an inclined narrow rectangular channel. *Progress in Nuclear Energy*, 98, 266-276.
- Trávníček, Z., Dančová, P., Kordík, J., Vít, T., & Pavelka, M. (2010). Heat and mass transfer caused by a laminar channel flow equipped with a synthetic jet array. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 2(4), 041006.
- Wang, Y., Houshmand, F., Elcock, D., & Peles, Y. (2013). Convective heat transfer and mixing enhancement in a microchannel with a pillar. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 62, 553-561.
- Yan, W. M. (1994). Mixed convection heat and mass transfer in inclined rectangular ducts. *International journal of heat and mass transfer*, 37(13), 1857-1866.
- Yan, W. M. (1995). Transport phenomena of developing laminar mixed convection heat and mass transfer in inclined rectangular ducts. *International journal of heat and mass transfer*, 38(15), 2905-2914.
- Yu, D., Guo, C., Xie, N., Wang, T., Hu, X., & Tang, D. (2016). Experimental investigation on flow characteristics in open rectangular microgrooves using micro-PIV. *Applied Thermal Engineering*, 106, 906-915.
- Zanchini, E. 2008. Mixed convection with variable viscosity in a vertical annulus with uniform wall temperatures. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51(1-2): 30-40. Elsevier.
- Zhang, H., Huang, X., Li, H., & Chua, L. (2002). Flow patterns and heat transfer enhancement in low-Reynolds-Rayleigh-number channel flow. *Applied thermal engineering*, 22(12), 1277-1288.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı-Soyadı : Melek Çalışkan
Uyruğu : T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.08.1992
Medeni Hali : Bekar
Telefon : -
e-mail : melekkaliskan25@gmail.com

Eğitim

Derece	Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Erzurum Teknik Üniversitesi	2019
Lisans	Atatürk Üniversitesi	2016
Lise	Erzurum Nenehatun Anadolu Lisesi	2010