



**AKIŞ YÖNLENDİRİCİ PLAKALARIN ÇIKINTILI ISI  
KAYNAKLARINDAN KARIŞIK KONVEKSİYONLA LAMİNAR ISI  
TRANSFERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK  
İNCELENMESİ**

**Burak KURŞUN**

**DOKTORA TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2015**

Burak KURŞUN tarafından hazırlanan “AKIŞ YÖNLENDİRİCİ PLAKALARIN ÇIKINTILI ISI KAYNAKLARINDAN KARIŞIK KONVEKSİYONLA LAMİNAR ISI TRANSFERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüritarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** prof.Dr.Mecit SİVRİOĞLU

Makina Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Başkan** : Prof.Dr.Veli ÇELİK

Makina Mühendisliği, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Üye** : Prof.Dr.İlhami HORUZ

Makina Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Üye** : Doç.Dr.Abuzer ÖZSUNAR

Makina Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Üye** : Doç.Dr.Cemil YAMALI

Makina Mühendisliği, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 11/12/2015

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Metin GÜRÜ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
  - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
  - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Burak KURŞUN

16/12/2015

AKIŞ YÖNLENDİRİCİ PLAKALARIN ÇIKINTILI ISI KAYNAKLARINDAN  
KARIŞIK KONVEKSİYONLA LAMİNAR ISI TRANSFERİNE ETKİSİNİN  
DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

(Doktora Tezi)

Burak KURŞUN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2015

ÖZET

Bu çalışmada, akış yönlendirici plakaların yatay bir kanal içerisindeki çıkıntılı ısı kaynaklarından karışık konveksiyonla laminar ısı transferine etkisi deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Soğutucu akışkan olarak hava kullanılmış ve yüzeyleri yalıtılmış olan dikdörtgen kanal içerisine 4x8'lik diziler halinde ısıtıcılar yerleştirilmiştir. Çalışmada, plakalar arası mesafenin kanal yüksekliğine oranının ( $L_p/H$ ) 3/20, 1/10, 1/20 ve plaka açısının ( $\alpha$ )  $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$  olduğu değerler için farklı Reynolds ( $Re$ ) ve düzeltilmiş Grashof ( $Gr^*$ ) sayılarında deneysel ve sayısal incelemeler yapılmıştır. Çalışmada önce, ısıtıcıların kanal alt ve üst yüzeylerinde bulunması koşulunda ısıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşiminin yapıldığı ve yapılmadığı durumlar için deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada, plaka açısının  $30^\circ$  ve  $L_p/H$  oranının 3/20 olduğu durumlar için farklı  $Re$  ve  $Gr^*$  değerlerinde  $Nu_{sıra\ ort.}$  ve sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Farklı plaka açısı ( $\alpha$ ) değerlerinin ( $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ ) ısı transferine etkileri ise deneysel çalışma sonuçları ile uyumlu sayısal sonuçlar elde edildikten sonra sayısal olarak araştırılmıştır. Yapılan analizlerde, plaka yerleşiminin yalnızca alt yüzeydeki ısıtıcılarda ilk dört ısıtıcı sırasındaki, üst yüzeydeki ısıtıcılarda ise ilk ve son ısıtıcı sıralarındaki ısı transferi miktarını artırdığı anlaşılmıştır. Bundan sonra, ısı transferini iyileştirilerek daha uygun soğutma koşullarını oluşturabileceği düşünülen, ısıtıcılar yan yüzeylerde iken akış yönlendirici plaka kullanılması durumunun sayısal olarak incelenmesine karar verilmiştir. Bu doğrultuda öncelikle  $L_p/H$  oranının 3/20 değeri için ısıtıcı bölgesi girişine  $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$  açı ile plaka yerleşimi yapılarak ısı transferi miktarında iyileştirme yapılması hedeflenmiştir. Yapılan sayısal çalışma sonucunda,  $Gr^*$ ,  $Re$  sayılarının ve plaka açılarının tüm değerleri için plakasız duruma göre farklı oranlarda ısı transferi artışı görülmüştür. En yüksek ısı transferi artışı ise plaka açısının  $60^\circ$  olduğu durumda elde edilmiştir. Çalışmada sayısal olarak analiz edilen bir diğer durum ise periyodik plaka yerleşim düzenidir. Periyodik plaka yerleşim düzeni için yapılan sayısal çalışma ise, plakalar arası mesafenin kanal yüksekliğine oranının ( $L_p/H$ ) 3/20, 1/10, 1/20 ve plaka açısının  $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$  olduğu değerlerde farklı  $Re$  ve  $Gr^*$  sayılarında gerçekleştirilmiştir. Sayısal çalışma sonucunda elde edilen bulgular, periyodik plaka yerleşimi ile tüm parametre değerleri için plakasız duruma göre ısı transferi miktarının arttığını göstermiştir. Plaka açısının  $30^\circ$ ,  $L_p/H$  oranının 3/20 olduğu koşullarda plakasız duruma göre en yüksek ısı transfer artışı meydana gelmiştir. Ayrıca çalışmada farklı  $Re$  sayısı, plaka açısı ve  $L_p/H$  oranı değerleri için basınç kaybına bağlı teorik fan gücü ( $N_{fan}$ ) değişimleri incelenerek enerji gereksinimleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Bilim Kodu : 914.1.065  
Anahtar Kelimeler : Yatay kanal, Karışık konveksiyon, Çıkıntılı ısı kaynakları, Laminar akış, Akış yönlendirici plaka  
Sayfa Adedi : 156  
Danışman : Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF EFFECT OF FLOW  
ROUTING PLATES ON LAMINAR MIXED CONVECTION HEAT TRANSFER  
FROM PROTRUDED HEAT SOURCES

(Ph. D. Thesis)

Burak KURŞUN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2015

ABSTRACT

In this study, the effect of using flow routing plates on the laminar mixed convection heat transfer from protruded heat sources in a horizontal channel is investigated experimentally and numerically. Air is used as coolant fluid and protruded heat sources were equipped as 4x8 rows into the rectangle channel that have insulated walls. In the study, experimental and numerical investigations are performed for the interplate distance to channel height ratio ( $L_p/H$ ) of 3/20 and plate angles ( $\alpha$ ) of 0°, 30°, 60° at different Reynolds (Re) and modified Grashof ( $Gr^*$ ) numbers. Experimental study is first performed for the case with a plate placement to the entrance of heater area and without any plate when the top and bottom walls of the channel were equipped with heat sources. In the experimental study,  $Nu_{row\ ave.}$  and temperature distribution are investigated for  $L_p/H$  of 3/20 and plate angle ( $\alpha$ ) of 30° at different Re and  $Gr^*$  numbers. Effect of different plate angles (0°, 30°, 60°) on heat transfer however, is analyzed numerically after compatible numerical results with experimental ones were obtained. In the analyses, it is investigated that use of plate has only provided heat transfer enhancement for the first four heater rows which are placed at the bottom wall, and the first and the last heater rows which are placed at the top wall. Then, it is decided to investigate numerically, the use of flow routing plate for the case of side walls were equipped with heat sources which is expected to improve the heat transfer. In this direction first, plate is placed to the entrance of heater area for  $L_p/H$  of 3/20 and plate angles ( $\alpha$ ) of 0°, 30°, 60° and it is aimed to improve heat transfer rate. From the result of numerical study, it is observed that different ratios of heat transfer enhancement occur compared to the case without plate for all values of  $Gr^*$ , Re numbers and plate angles. The highest heat transfer increase is occurred for the plate angle of 60°. In the study, the other case analyzed numerically is the case in which the plates are placed periodically. Numerical study is performed for  $L_p/H$  of 3/20, 1/10, 1/20 and plate angles ( $\alpha$ ) of 0°, 30°, 60° at different Re and  $Gr^*$  numbers for this periodic plate case. Results obtained from the numerical study have indicated that heat transfer increases with periodic plate case for all values of parameters. The highest heat transfer increase occurs at the plate angle of 30° and  $L_p/H$  of 3/20. Also in this study, theoretical fan power ( $N_{fan}$ ) variations due to pressure loss are investigated and energy requirements are tried to be determined.

Science Code : 914.1.065

Key Words : Horizontal channel, Mixed convection, Protruded heat sources,  
Laminar flow, Flow routing plate

Page Number : 156

Supervisor : Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU

## TEŞEKKÜR

Tez çalışması boyunca yardımlarını esirgemeyerek çalışmalarına büyük katkı sağlayan danışmanım Prof.Dr.Mecit SİVRİOĞLU'na, yaptıkları yapıcı eleştirileri ve önerileri için Tez İzleme Komitesi üyeleri Doç.Dr.Abuzer ÖZSUNAR'a ve Doç.Dr.Cemil YAMALI'ya, üniversite laboratuvarındaki deneysel çalışma sırasında sağladığı katkılardan ötürü Öğr.Gör.Dr.Tolga PIRASACI'ya, yardımları için Amasya Üniveritesi'nde bulunan çalışma arkadaşlarıma ve çalışma boyunca manevi destekleri ile her zaman yanımda olan sevgili eşime ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

|   | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| ÖZET .....  | iv           |
| ABSTRACT.....   | v            |
| TEŞEKKÜR.....   | vi           |
| İÇİNDEKİLER .....   | vii          |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....   | x            |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....   | xi           |
| RESİMLERİN LİSTESİ .....  | xix          |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....  | xx           |
| 1. GİRİŞ.....   | 1            |
| 2. ÇALIŞMANIN KAPSAMI VE KONU İLE İLGİLİ YAPILAN<br>ÇALIŞMALAR..... | 3            |
| 2.1. Tez Konusu ile İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar.....            | 5            |
| 3. DENEYSEL ÇALIŞMA .....   | 11           |
| 3.1. Test Bölgesi ve Kanal .....                                    | 12           |
| 3.2. Güç Kaynağı ve Kontrol Panosu.....                             | 15           |
| 3.3. Akım Düzenleyici .....   | 17           |
| 3.4. Sönümleme Odası .....  | 17           |
| 3.5. Deneysel Verilerin Toplanması ve Ölçüm Sistemi.....            | 17           |
| 3.5.1. Multimetre.....  | 18           |
| 3.5.2. Veri toplama sistemi.....                                    | 19           |
| 3.5.3. Hız ölçer .....  | 20           |
| 3.6. Deneysel Verilerin Analizi .....                               | 20           |
| 3.7. Hata Analizi.....  | 26           |



|   | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| 3.8. Deneysel Çalışma Programı .....  | 28           |
| <b>4. SAYISAL ÇALIŞMA</b> .....   | <b>31</b>    |
| 4.1. Isıtıcıların Kanal Alt ve Üst Yüzeylerinde Bulunması Durumunda Plaka Kullanımı .....                                 | 31           |
| 4.2. Isıtıcıların Kanal Yan Yüzeylerinde Bulunması Durumunda Akış Yönlendirici Plaka Kullanımı .....                      | 33           |
| 4.3. Matematiksel Model .....   | 35           |
| 4.4. Temel Korunum Denklemleri ve Sınır Şartları .....  | 35           |
| 4.5. Boyut Analizi .....  | 38           |
| 4.5.1. Boyutsuz kütle korunumu denklemi .....   | 38           |
| 4.5.2. Boyutsuz momentum korunumu denklemleri .....   | 38           |
| 4.5.3. Boyutsuz enerjinin korunumu denklemi .....   | 39           |
| 4.6. Sayısal Çözümleme .....  | 39           |
| 4.6.1. Isıtıcıların kanal alt ve üst yüzeylerinde bulunması durumu için sayısal çözümleme .....                           | 40           |
| 4.6.2. Isıtıcıların kanal yan yüzeylerinde bulunması durumu için sayısal çözümleme .....                                  | 44           |
| 4.7. Sayısal Verilerin Analizi .....  | 48           |
| 4.8. Sayısal Çözümlerin Doğruluğu .....   | 49           |
| 4.9. Sayısal Çalışma Parametreleri .....  | 50           |
| <b>5. DENEYSEL SONUÇLAR</b> .....   | <b>55</b>    |
| 5.1. Akış Yönlendirici Plakalı ve Plakasız Durumlar İçin Deneysel Sonuçlar .....  | 55           |
| <b>6. SAYISAL SONUÇLAR</b> .....  | <b>64</b>    |
| 6.1. Sayısal Sonuçların Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması .....   | 66           |
| 6.2. Isıtıcıların Kanal Alt ve Üst Yüzeylerinde Olması Koşulunda Plakalı ve Plakasız Durumlar İçin Sayısal Sonuçlar ..... | 68           |

**Sayfa**

|   |     |
|---|-----|
| 6.3. Isıtıcıların Kanal Yan Yüzeylerinde Olması Koşulunda Plakalı ve Plakasız Durumlar için Sayısal Sonuçlar..... | 91  |
| 6.3.1. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi için sayısal sonuçlar .....                                       | 92  |
| 6.3.2. Periyodik plaka yerleşimi durumundaki sayısal sonuçlar .....   | 109 |
| 7. SONUÇ VE ÖNERİLER .....  | 141 |
| KAYNAKLAR .....   | 145 |
| EKLER.....  | 147 |
| EK-1. Sayısal çözümlerin doğruluğunun kontrolü .....  | 148 |
| ÖZGEÇMİŞ .....  | 155 |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| <b>Çizelge</b>  | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Çizelge 3.1. Protek 506 multimetrenin özellikleri.....  | 19           |
| Çizelge 3.2. Değişkenlerin belirsizlik ve hata oranları .....   | 29           |
| Çizelge 3.3. Akış yönlendirici plaka kullanımı için deneysel çalışma programı( $\alpha=30^\circ$ ) .....                                | 30           |
| Çizelge 3.4. Plakasız durum için deneysel çalışma programı.....   | 30           |
| Çizelge 4.1. Plakasız koşul için sayısal çalışma programı (Isıtıcılar alt ve üst yüzeyde) .....   | 51           |
| Çizelge 4.2. Plakalı koşul için sayısal çalışma programı (Isıtıcılar alt ve üst yüzeyde).   | 51           |
| Çizelge 4.3. Plakasız koşul için sayısal çalışma programı (Isıtıcılar yan yüzeylerde, birinci durum).....                               | 51           |
| Çizelge 4.4. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi için sayısal çalışma programı (Isıtıcılar yan yüzeylerde, birinci durum) .....    | 52           |
| Çizelge 4.5. Plakasız koşul için sayısal çalışma programı (Isıtıcılar yan yüzeylerde, ikinci durum) .....                               | 52           |
| Çizelge 4.6. Periyodik plaka yerleşimi için sayısal çalışma programı (Isıtıcılar yan yüzeylerde, ikinci durum, $\alpha=30^\circ$ )..... | 52           |
| Çizelge 4.7. Periyodik plaka yerleşimi için sayısal çalışma programı (Isıtıcılar yan yüzeylerde, ikinci durum, $\alpha=60^\circ$ )..... | 53           |
| Çizelge 4.8. Periyodik plaka yerleşimi için sayısal çalışma programı (Isıtıcılar yan yüzeylerde, ikinci durum, $\alpha=0^\circ$ ).....  | 53           |
| Çizelge 6.1. Kanal giriş ve çıkışında farklı plaka yerleşim durumları için oluşan basınç farkı değerleri.....                           | 111          |
| Çizelge 6.2. Kanal giriş ve çıkışında farklı Re sayısı değerleri için oluşan basınç farkı değerleri.....                                | 122          |
| Çizelge 6.3. Kanal giriş ve çıkışında farklı plaka açıları için oluşan basınç farkı değerleri .....                                     | 128          |
| Çizelge 6.4. Kanal giriş ve çıkışında farklı $L_p/H$ oranları için oluşan basınç farkı değerleri.....                                   | 134          |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil  | Sayfa |
|--|-------|
| Şekil 2.1. Elektronik sistemlerde kullanılan genel soğutma teknikleri.....   | 5     |
| Şekil 2.2. Elektronik yongaların dikdörtgen şekilli ısı kaynakları şeklinde modellenmesi.....  | 6     |
| Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik görünümü .....  | 12    |
| Şekil 3.2. Kanal içerisindeki ısıtıcı ve plakaların yerleşim düzeni .....  | 13    |
| Şekil 3.3. Isıtıcı blokların yerleşimi .....   | 14    |
| Şekil 3.4. Pleksiglas plaka boyutları .....  | 14    |
| Şekil 3.5. Kontrol panosu devre şeması.....  | 16    |
| Şekil 3.6. Isıtıcı yan yüzeylerinden olan ısı kayıpları .....  | 24    |
| Şekil 3.7. Yığın sıcaklıklarının hesaplanması için seçilen kontrol hacmi .....   | 25    |
| Şekil 3.8. Köpük yalıtımdaki sıcaklık dağılımı .....   | 26    |
| Şekil 4.1. Plakasız durum (ısıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde).....  | 32    |
| Şekil 4.2. Plakalı durum (ısıtıcılar kanal alt ve üst yüzeyinde) .....   | 32    |
| Şekil 4.3. Plakasız durum (ısıtıcılar kanal yan yüzeylerinde).....   | 33    |
| Şekil 4.4. Isıtıcı bölgesi girişinde plaka kullanılması durumu (ısıtıcılar kanal yan yüzeylerinde) .....                               | 34    |
| Şekil 4.5. Periyodik plaka yerleşimi durumu (ısıtıcılar kanal yan yüzeylerinde).....   | 34    |
| Şekil 4.6. Plakasız durumda sayısal çözümleme için kanal geometrisi ve sınır şartları (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde) ..... | 40    |
| Şekil 4.7. Plakalı durumda sayısal çözümleme için kanal geometrisi ve sınır şartları (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde) .....  | 41    |
| Şekil 4.8. Plakasız geometri için hücre yapısı ve dağılımı (ısıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde) .....                            | 42    |
| Şekil 4.9. Plakalı geometri için hücre yapısı ve dağılımı (ısıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde) .....                             | 43    |
| Şekil 4.10. Plakasız geometri için kanal geometrisi ve sınır şartları (ısıtıcılar kanal yan yüzeylerinde) .....                        | 45    |

| <b>Şekil</b>  | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Şekil 4.11. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleştirilmesi durumu için kanal geometrisi ve sınır şartları (ısıtıcılar kanal yan yüzeylerinde) .....   | 45           |
| Şekil 4.12. Periyodik plaka yerleşimi durumu için kanal geometrisi ve sınır şartları (ısıtıcılar kanal yan yüzeylerinde) .....  | 45           |
| Şekil 4.13. Plakasız geometri için hücre yapısı ve dağılımı (ısıtıcılar yan yüzeylerde)   | 46           |
| Şekil 4.14. Isıtıcı girişi bölgesinde plaka kullanımı durumundaki geometri için hücre yapısı ve dağılımı (ısıtıcılar yan yüzeylerde) .....  | 47           |
| Şekil 4.15. Periyodik plaka yerleşimi durumundaki geometri için hücre yapısı ve dağılımı (ısıtıcılar kanal yan yüzeylerinde) .....  | 48           |
| Şekil 5.1. Alt ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama Nu sayısının $Gr^*$ sayısına göre değişimi ( $Re=2000$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ )....   | 56           |
| Şekil 5.2. Alt ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama $T_s-T_{giriş}$ değerlerinin $Gr^*$ sayısına göre değişimi ( $Re=2000$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ).....                          | 57           |
| Şekil 5.3. Üst ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama Nu sayısının $Gr^*$ sayısına göre değişimi ( $Re=2000$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ )....   | 58           |
| Şekil 5.4. Üst ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama $T_s-T_{giriş}$ değerlerinin $Gr^*$ sayısına göre değişimi ( $Re=2000$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....                         | 59           |
| Şekil 5.5. Alt ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama Nu sayısının $Re$ sayısına göre değişimi ( $Gr^*=3 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) ..                                     | 60           |
| Şekil 5.6. Alt ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama $T_s-T_{giriş}$ değerlerinin $Re$ sayısına göre değişimi ( $Gr^*=3 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....                  | 60           |
| Şekil 5.7. Üst ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama Nu sayısının $Re$ sayısına göre değişimi ( $Gr^*=3 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) ...                                    | 61           |
| Şekil 5.8. Üst ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama Nu sayısının $Re$ sayısına göre değişimi ( $Gr^*=3 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ )...                                     | 62           |
| Şekil 6.1. Plakalı ve plakasız durumlardaki deneysel ve sayısal sonuçların sıra ortalama Nu sayısı değerleri için karşılaştırılması ( $Gr^*=3 \times 10^8$ , $Re=2000$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....       | 66           |
| Şekil 6.2. Plakalı ve plakasız durumlardaki deneysel ve sayısal sonuçların sıra ortalama $T_s-T_{giriş}$ değerleri için karşılaştırılması ( $Re=2000$ , $Gr^*=3 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) ..... | 67           |

| Şekil  | Sayfa |
|--|-------|
| Şekil 6.3. Plakalı ve plakasız durumlardaki deneysel ve sayısal sonuçların sıra ortalama Nu sayısı değerleri için karşılaştırılması ( $Gr^*=3 \times 10^8$ , $Re=930$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ).....        | 67    |
| Şekil 6.4. Plakalı ve plakasız durumlardaki deneysel ve sayısal sonuçların sıra ortalama $T_s-T_{giriş}$ değerleri için karşılaştırılması ( $Gr^*=3 \times 10^8$ , $Re=930$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) ..... | 68    |
| Şekil 6.5. Alt ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama Nu sayısının $Gr^*$ sayısına göre değişimi ( $Re=2000$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....  | 69    |
| Şekil 6.6. Alt ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama $T_s-T_{giriş}$ değerlerinin $Gr^*$ sayısına göre değişimi ( $Re=2000$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ).....                         | 70    |
| Şekil 6.7. Üst ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama Nu sayısının $Gr^*$ sayısına göre değişimi ( $Re=2000$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....  | 71    |
| Şekil 6.8. Üst ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama $T_s-T_{giriş}$ değerlerinin $Gr^*$ sayısına göre değişimi ( $Re=2000$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....                        | 71    |
| Şekil 6.9. Plakalı durumdaki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde, $Re=2000$ , $\alpha=30^\circ$ , $Gr^*=3 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .              | 73    |
| Şekil 6.10. Plakasız durumdaki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde, $Re=2000$ , $Gr^*=3 \times 10^8$ , $H/W=1/2$ ) .....   | 74    |
| Şekil 6.11. Plakalı durumdaki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde, $Re=2000$ , $\alpha=30^\circ$ , $Gr^*=1 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .             | 75    |
| Şekil 6.12. Plakasız durumdaki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde, $Re=2000$ , $Gr^*=1 \times 10^8$ , $H/W=1/2$ ) .....   | 76    |
| Şekil 6.13. Alt ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama Nu sayısının $Re$ sayısına göre değişimi ( $Gr^*=3 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ )....                                | 78    |
| Şekil 6.14. Alt ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama $T_s-T_{giriş}$ değerlerinin $Re$ sayısına göre değişimi ( $Gr^*=3 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ).....                 | 78    |
| Şekil 6.15. Üst ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama Nu sayısının $Re$ sayısına göre değişimi ( $Gr^*=3 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ )....                                | 79    |
| Şekil 6.16. Üst ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama $T_s-T_{giriş}$ değerlerinin $Re$ sayısına göre değişimi ( $Gr^*=3 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ).....                 | 80    |

| <b>Şekil</b>   | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| Şekil 6.17. Plakalı durumdaki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde, $Re=1400$ , $\alpha=30^\circ$ , $Gr^*=3 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .   | 81           |
| Şekil 6.18. Plakasız durumdaki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde, $Re=1400$ , $Gr^*=3 \times 10^8$ , $H/W=1/2$ ) .....   | 82           |
| Şekil 6.19. Plakalı durumdaki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde, $Re=930$ , $\alpha=30^\circ$ , $Gr^*=3 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) ...  | 83           |
| Şekil 6.20. Plakasız durumdaki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde, $Re=930$ , $Gr^*=3 \times 10^8$ , $H/W=1/2$ ) .....  | 84           |
| Şekil 6.21. Alt ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama $Nu$ sayısının plaka açısına göre değişimi ( $Re=2000$ , $Gr^*=3 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....  | 85           |
| Şekil 6.22. Alt ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama $T_s-T_{giriş}$ değerlerinin plaka açısına göre değişimi ( $Re=2000$ , $Gr^*=3 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....  | 86           |
| Şekil 6.23. Üst ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama $Nu$ sayısının plaka açısına göre değişimi ( $Re=2000$ , $Gr^*=3 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....  | 87           |
| Şekil 6.24. Üst ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama $T_s-T_{giriş}$ değerlerinin plaka açısına göre değişimi ( $Re=2000$ , $Gr^*=3 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....  | 87           |
| Şekil 6.25. Plakalı durumdaki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde, $Re=2000$ , $\alpha=60^\circ$ , $Gr^*=3 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .   | 89           |
| Şekil 6.26. Plakalı durumdaki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde, $Re=2000$ , $\alpha=0^\circ$ , $Gr^*=3 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) ...  | 90           |
| Şekil 6.27. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi ve plakasız durumlarda sıra ortalama $Nu$ sayısının $Gr^*$ sayısına göre değişimi (Isıtıcılar yan yüzeylerde, $Re=1000$ , $Gr^*=1.5 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....               | 93           |
| Şekil 6.28. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi ve plakasız durumlarda sıra ortalama $T_s-T_{giriş}$ değerlerinin $Gr^*$ sayısına göre değişimi (Isıtıcılar yan yüzeylerde, $Re=1000$ , $Gr^*=1.5 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) ..... | 93           |
| Şekil 6.29. Isıtıcı bölgesi girişinde plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=1.5 \times 10^8$ , $\alpha=30^\circ$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....  | 95           |
| Şekil 6.30. Plakasız durum (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=1.5 \times 10^8$ , $H/W=1/2$ ) .....  | 96           |

| <b>Şekil</b>  | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Şekil 6.31. Isıtıcı bölgesi girişinde plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=5 \times 10^7$ , $\alpha=30^\circ$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....   | 97           |
| Şekil 6.32. Plakasız durum (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=5 \times 10^7$ , $H/W=1/2$ ) .....   | 98           |
| Şekil 6.33. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi ve plakasız durumlarda sıra ortalama $Nu$ sayısının $Re$ sayısına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....                                  | 99           |
| Şekil 6.34. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi ve plakasız durumlarda sıra ortalama $T_s-T_{giriş}$ değerlerinin $Re$ sayısına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....                    | 100          |
| Şekil 6.35. Isıtıcı bölgesi girişinde plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=860$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $\alpha=30^\circ$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....  | 101          |
| Şekil 6.36. Plakasız durum (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=860$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $H/W=1/2$ ) .....  | 102          |
| Şekil 6.37. Isıtıcı bölgesi girişinde plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=600$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $\alpha=30^\circ$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....  | 103          |
| Şekil 6.38. Plakasız durum (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=600$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $H/W=1/2$ ) .....  | 104          |
| Şekil 6.39. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi ve plakasız durumlarda sıra ortalama $Nu$ sayısının plaka açısına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $Re=1000$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....                      | 105          |
| Şekil 6.40. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi ve plakasız durumlarda değişken sıra ortalama $T_s-T_{giriş}$ değerlerinin plaka açısına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $Re=1000$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ).... | 106          |
| Şekil 6.41. Isıtıcı bölgesi girişinde plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $\alpha=60^\circ$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....   | 107          |
| Şekil 6.42. Isıtıcı bölgesi girişinde plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $\alpha=0^\circ$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....  | 108          |
| Şekil 6.43. Plakalı ve plakasız durumlarda farklı yerleşim düzenleri için sıra ortalama $Nu$ sayısı değerleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....   | 110          |
| Şekil 6.44. Plakalı ve plakasız durumlarda farklı yerleşim düzenleri için sıra ortalama $T_s-T_{giriş}$ değerleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....   | 110          |



| <b>Şekil</b>  | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Şekil 6.45. Plakasız ve farklı plaka yerleşim düzenleri için teorik fan gücü değerleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=1.5 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ).....                           | 111          |
| Şekil 6.46. Plakasız durumdaki basınç kontörleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $H/W=1/2$ ) .....   | 112          |
| Şekil 6.47. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi durumundaki basınç kontörleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $\alpha=30^\circ$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....          | 112          |
| Şekil 6.48. Periyodik plaka yerleşimi durumundaki basınç kontörleri(Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $\alpha=30^\circ$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .                              | 112          |
| Şekil 6.49. Periyodik plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama $Nu$ sayısının $Gr^*$ sayısına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....                        | 113          |
| Şekil 6.50. Periyodik plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama $T_s-T_{giriş}$ değerlerinin $Gr^*$ sayısına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ).....           | 114          |
| Şekil 6.51. Periyodik plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=1.5 \times 10^8$ , $\alpha=30^\circ$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ).....  | 115          |
| Şekil 6.52. Periyodik plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=5 \times 10^7$ , $\alpha=30^\circ$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....   | 116          |
| Şekil 6.53. Periyodik plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama $Nu$ sayısının $Re$ sayısına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ).....                | 117          |
| Şekil 6.54. Periyodik plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama $T_s-T_{giriş}$ değerlerinin $Re$ sayısına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) ..... | 118          |
| Şekil 6.55. Periyodik plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=860$ , $Gr^*=1.5 \times 10^8$ , $\alpha=30^\circ$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....  | 119          |
| Şekil 6.56. Periyodik plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=600$ , $Gr^*=1.5 \times 10^8$ , $\alpha=30^\circ$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....  | 120          |
| Şekil 6.57. Periyodik plaka yerleşiminde değişken $Re$ sayıları için teorik fan gücü değerleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $\alpha=30^\circ$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....          | 122          |

| Şekil   | Sayfa |
|---|-------|
| Şekil 6.58. Periyodik plaka yerleşimi durumundaki basınç kontörleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=860$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $\alpha=30^\circ$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) ...  | 122   |
| Şekil 6.59. Periyodik plaka yerleşimi durumundaki basınç kontörleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=600$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $\alpha=30^\circ$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ )....  | 123   |
| Şekil 6.60. Periyodik plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama $Nu$ sayısının plaka açısına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....                                 | 123   |
| Şekil 6.61. Periyodik plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama $T_s-T_{giriş}$ değerlerinin plaka açısına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....                   | 124   |
| Şekil 6.62. Periyodik plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $\alpha=60^\circ$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .....   | 125   |
| Şekil 6.63. Periyodik plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $\alpha=0^\circ$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ).....   | 126   |
| Şekil 6.64. Periyodik plaka yerleşiminde değişken plaka açıları için teorik fan gücü değerleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ).....                                     | 127   |
| Şekil 6.65. Periyodik plaka yerleşimi durumundaki basınç kontörleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $\alpha=60^\circ$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) .   | 128   |
| Şekil 6.66. Periyodik plaka yerleşimi durumundaki basınç kontörleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $\alpha=0^\circ$ , $L_p/H=3/20$ , $H/W=1/2$ ) ...  | 129   |
| Şekil 6.67. Periyodik plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama $Nu$ sayısının $L_p/H$ oranına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $\alpha=30^\circ$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $H/W=1/2$ ).....               | 130   |
| Şekil 6.68. Periyodik plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama $T_s-T_{giriş}$ değerlerinin $L_p/H$ oranına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $\alpha=30^\circ$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $H/W=1/2$ )..... | 130   |
| Şekil 6.69. Periyodik plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $\alpha=30^\circ$ , $L_p/H=1/10$ , $H/W=1/2$ ).....  | 132   |
| Şekil 6.70. Periyodik plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $\alpha=30^\circ$ , $L_p/H=1/20$ , $H/W=1/2$ ).....  | 133   |
| Şekil 6.71. Periyodik plaka yerleşiminde değişken $L_p/H$ oranları için teorik fan gücü değerleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $\alpha=30^\circ$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $H/W=1/2$ ).....                             | 134   |

| <b>Şekil</b>  | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Şekil 6.72. Periyodik plaka yerleşimi durumundaki basınç kontörleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $\alpha=30^\circ$ , $L_p/H=1/10$ , $H/W=1/2$ ) . | 135          |
| Şekil 6.73. Periyodik plaka yerleşimi durumundaki basınç kontörleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $Re=1000$ , $Gr^*=1,5 \times 10^8$ , $\alpha=30^\circ$ , $L_p/H=1/20$ , $H/W=1/2$ ) . | 135          |
| Şekil 6.74. Plakasız koşul için $Nu_{sıra\ ort.}$ değerleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde)....   | 136          |
| Şekil 6.75. Periyodik plaka yerleşimi için $Nu_{sıra\ ort.}$ değerleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $L_p/H=3/20$ ).....  | 137          |
| Şekil 6.76. Periyodik plaka yerleşimi için $Nu_{sıra\ ort.}$ değerleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $L_p/H=1/10$ ).....  | 138          |
| Şekil 6.77. Periyodik plaka yerleşimi için $Nu_{sıra\ ort.}$ değerleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde, $L_p/H=1/20$ ).....  | 139          |

**RESİMLERİN LİSTESİ**

| <b>Resim</b>   | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| Resim 2.1. Elektronik devre kartı.....                           | 5            |
| Resim 3.1. Deney düzeneği .....                                  | 11           |
| Resim 3.2. Test bölgesindeki alüminyum ısıtıcı bloklar.....      | 14           |
| Resim 3.3. Pleksiglas plakalar .....                             | 15           |
| Resim 3.4. Plakaların ısıtıcı bölgesindeki yerleşim düzeni ..... | 15           |
| Resim 3.5. Kontrol panosu ve güç kaynağı .....                   | 16           |
| Resim 3.6. Akım düzenleyici a) Akış düzeltici b) Lüle.....       | 17           |
| Resim 3.7. Sönümlenme odası.....                                 | 18           |
| Resim 3.8. Protek 506 dijital multimetre .....                   | 18           |
| Resim 3.9. ELİMKO 680 veri toplama sistemi .....                 | 19           |
| Resim 3.10. Airflow UA30 ultrasonik anemometre .....             | 20           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| <b>Simgeler</b>                   | <b>Açıklamalar</b>   |
|-----------------------------------|--|
| <b>A</b>                          | ısı transfer alanı, $m^2$  |
| <b>A<sub>k</sub></b>              | kanal kesit alanı, $m^2$   |
| <b>A<sub>ısıtıcı</sub></b>        | ısıtıcı yüzey alanı, $m^2$   |
| <b>b</b>                          | plaka boyu, m  |
| <b>c<sub>p</sub></b>              | özgül ısı, kJ/kg.K   |
| <b>D<sub>H</sub></b>              | kanal hidrolik çapı, m   |
| <b>g</b>                          | yerçekim ivmesi, $m/s^2$   |
| <b>Gr</b>                         | Grashof sayısı, $Gr=(g\beta(T_s-T_{giriş})_{ort} D_H^3)/\nu^2$   |
| <b>Gr*</b>                        | düzeltilmiş Grashof sayısı, $Gr^*=(g\beta \dot{q}_{konv.ort} D_H^4)/k\nu^2$                                    |
| <b>h</b>                          | konveksiyon ısı transfer katsayısı, $W/m^2.K$  |
| <b>k</b>                          | ısıl iletkenlik katsayısı, $W/m.K$   |
| <b>l</b>                          | plaka uzunluğu, m  |
| <b>L</b>                          | ısıtıcı ile komşu sıcaklık arası mesafe, m   |
| <b>L<sub>izopan</sub></b>         | izopan yalıtım kalınlığı, m  |
| <b>L<sub>p</sub></b>              | plakalar arası mesafe, m   |
| <b>m</b>                          | kütleli debi, kg/s   |
| <b>N<sub>fan</sub></b>            | teorik fan gücü, W   |
| <b>Nu<sub>sıra ort</sub></b>      | sıra ortalama Nusselt sayısı, $(Nu_{sıra ort} = \dot{q}_{konv.sıra ort} D_H / k(T_s - T_{giriş})_{sıra ort} )$ |
| <b>P<sub>atm</sub></b>            | atmosfer basıncı, Pa   |
| <b>P<sub>ç</sub></b>              | kanalın çevre uzunluğu, m  |
| <b>q<sub>konv.</sub></b>          | konveksiyon ısı akısı, $W/m^2$   |
| <b>q<sub>konv.ort.</sub></b>      | tüm ısıtıcılardaki ortalama ısı akısı, $W/m^2$   |
| <b>q<sub>konv.sıra ort.</sub></b> | ısıtıcı sırasındaki ortalama ısı akısı, $W/m^2$  |
| <b>Q<sub>elektrik</sub></b>       | ısıtıcıya verilen ısı miktarı, W   |
| <b>Q<sub>konv.</sub></b>          | konveksiyon ısı transferi, W   |

| <b>Simgeler</b>                   | <b>Açıklamalar</b>   |
|-----------------------------------|--|
| $\dot{Q}_{\text{kond.izolasyon}}$ | ısıtıcının alt yüzeyinden izolasyona olan ısı kayıp, W       |
| $\dot{Q}_{\text{kond.yan}}$       | ısıtıcının yanlarından teflon yüzeye olan ısı kayıp, W       |
| $\dot{Q}_{\text{rad.}}$           | radyasyon ısı transferi, W                                   |
| $R_{\text{ısıtıcı}}$              | ısıtıcının elektriksel direnci, $\Omega$                     |
| $R_{\text{toplam}}$               | kontrol panosu ısıtıcı devrelerinin toplam direnci, $\Omega$ |
| <b>Re</b>                         | Reynolds sayısı, $Re=(w_{\text{giriş}} D_H) / \nu$           |
| <b>Ri</b>                         | Richardson sayısı, $Ri=Gr/Re^2$                              |
| <b>s</b>                          | plaka kalınlığı, m   |
| <b>T</b>                          | akışkan sıcaklığı, K   |
| <b>T<sub>s</sub></b>              | ısıtıcı yüzey sıcaklığı, K                                   |
| <b>T<sub>b</sub></b>              | akışkan ortalama yığın sıcaklığı, K                          |
| <b>T<sub>giriş</sub></b>          | havanın kanala giriş sıcaklığı, K                            |
| <b>u</b>                          | x eksenini doğrultusundaki hız bileşeni, m/s                 |
| <b>v</b>                          | y eksenini doğrultusundaki hız bileşeni, m/s                 |
| <b>V</b>                          | elektriksel gerilim, V                                       |
| <b>w</b>                          | z eksenini doğrultusundaki hız bileşeni, m/s                 |
| <b>w<sub>giriş</sub></b>          | havanın kanal giriş hızı, m/s                                |
| <b><math>\rho</math></b>          | yoğunluk, $\text{kg/m}^3$                                    |
| <b><math>\alpha</math></b>        | plakanın düşey eksenle yaptığı açı, derece                   |
| <b><math>\beta</math></b>         | ısı genleşme katsayısı, $1/K$                                |
| <b><math>\nu</math></b>           | kinematik viskozite, $\text{m}^2/\text{s}$                   |
| <b><math>\mu</math></b>           | dinamik viskozite, $\text{kg/ms}$                            |
| <b><math>\varepsilon</math></b>   | ısıtıcı yüzey yayıcılık katsayısı                            |
| <b><math>\sigma</math></b>        | Stefan Boltzman sabiti, $\text{W/m}^2.\text{K}^4$            |

### **Alt İndisler**                      **Açıklama**

|           |               |
|-----------|---------------|
| k.h.      | kontrol hacmi |
| ort.      | ortalama      |
| sıra ort. | sıra ortalama |

## 1. GİRİŞ

Isı transferi, endüstriyel sistemler, otomotiv endüstrisi, elektronik cihazlar, iklimlendirme sistemleri, uzay ve havacılık gibi birçok alanda sistemin verimli ve sorunsuz çalışabilmesi için önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada bahsedilen ise elektronik eleman ve cihazların soğutulması işlemidir. Elektronik sektöründeki gelişmelere paralel olarak elektronik cihazların kullanım alanları artmakta ve bu duruma bağlı olarak sistemlerin güvenilirliği ön plana çıkmaktadır.

Gelişen teknolojiyle birlikte elektronik elemanların boyutları küçülmekte ve devre sayıları artmaktadır. Boyutların küçültülmesi ise elektronik yongalarda meydana gelen ısı üretiminin artmasına neden olmaktadır. Devre elemanlarının sıcaklarının belirli bir seviyenin üzerine çıkması durumunda ise sistemin performansı azalmakta ve sıcaklık seviyesine bağlı olarak elektronik elemanlar kalıcı şekilde hasar görebilmektedir. Bu nedenle elektronik elemanların en etkin ve verimli bir şekilde soğutulması gerekmektedir.

Günümüzde elektronik elemanların soğutulması işlemi için uygulanan birçok ısı transfer mekanizması ve yöntem mevcuttur. En çok kullanılan yöntem ve teknikler arasında gaz veya sıvı akışkanlar kullanılması, doğal konveksiyon, zorlanmış konveksiyon, karışık konveksiyon, faz değişimi, mikro kanal soğutma ve akışkan jeti kullanma gibi yöntemler ve ısı transfer mekanizmaları yer almaktadır. Isı üretiminin düşük olduğu elektronik devrelerde soğutucu olarak hava akışının kullanılması, basitliği ve ekonomik açıdan uygunluğu sebebiyle oldukça yaygındır. Doğal ve zorlanmış konveksiyon etkilerini içeren karışık konveksiyonla ısı transferi yöntemi birçok durumda yeterli soğutma koşullarını sağladığından geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Elektronik yongalardaki ısı üretiminin yüksek olması durumunda ise ısı transfer katsayısının artırılması için zorlanmış konveksiyon etkisinin de artırılması gerekmektedir. Bu durumda da daha fazla fan veya pompa gücü gibi enerji ihtiyaçları doğmakta ve sistemin enerji maliyeti yükselmektedir. Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalarda temel hedef optimum enerji ihtiyacı ile birçok durumda uygun soğutma koşullarının sağlanmasıdır. Diğer yandan hava akışını sağlayan fanın az enerji harcayarak düşük devirde çalışması gürültü ve titreşimi de azaltması nedeni ile sisteme olumlu katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada, elektronik yongaları temsil eden ısıtıcıların bulunduğu yatay bir kanal içerisinde farklı konumlarda yerleştirilen akış yönlendirici plakaların, ısıtıcılardan karışık konveksiyon şartlarında oluşan laminar ısı transferine etkisi araştırılmış, kanal ve plaka yerleşim düzenleri değiştirilerek uygun soğutma koşullarının belirlenmesine çalışılmıştır.

Çalışma başlangıcında elektronik elemanların soğutulması konusunda yapılmış olan çalışmalar araştırılarak tez konusunun bu çalışmalara katkı sağlayacak nitelikte olup olmadığı araştırılmış ve konu ile ilgili çalışmalar göz önünde bulundurularak uygun çalışma koşulları belirlenmiştir. Bu koşullara göre iki farklı problem ele alınmıştır. Birinci problemde ısıtıcıların kanal alt ve üst yüzeylerinde bulunması durumu için akış yönlendirici plaka kullanımının ısıtıcılardan olan ısı transferine etkileri incelenmiştir. İkinci problem de ise ısıtıcıların kanal yan yüzeylerinde bulunması koşulunda farklı plaka yerleşim düzenlerinin ısı transferine etkileri araştırılmıştır.

Birinci problemde belirlenen çalışma koşulları doğrultusunda deney düzeneği oluşturulmuş ve ısı transferine etki edecek olan parametrelerin belirli değerleri için deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma sonrasında, elde edilen bulgularla uyumlu sayısal bir model oluşturularak değişken soğutma koşulları için sayısal çalışma yapılmıştır. İkinci problemde ele alınan ısıtıcıların kanal yan yüzeylerinde bulunması koşulunda akış yönlendirici plaka kullanımının ısı transferine etkileri ise sayısal olarak analiz edilmiştir.

Çalışmanın son aşamasında ise deneysel ve sayısal analizlerden elde edilen bulgular doğrultusunda, ısı transferi ve sıcaklık dağılımlarını içeren grafikler oluşturulmuş ve sonuçlar ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.



## 2. ÇALIŞMANIN KAPSAMI VE KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Elektronik teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak elektronik eleman ve cihazların talepler doğrultusunda boyutları küçülmekte, hızları ve devre sayıları artmaktadır. Bu duruma bağlı olarak da çalışma sırasında sistem sıcaklığının yükselmesi ile birlikte elektronik devrelerde kalıcı hasarlar oluşabilmektedir. Elektronik cihazların uygun sıcaklıklarda çalıştırılması sistemin güvenilirliğini ve ömrünü büyük ölçüde artırdığından ısı transferinin iyileştirilip elektronik devre elemanlarının daha verimli bir şekilde soğutulması, elektronik sistem tasarımında önemli bir konu haline gelmiştir.

Elektronik devrelerde üretilen ısı, belirli dirençlere sahip rezistörler, diyotlar, transistörler, mikroşlemciler ve entegre devreler gibi elemanların üzerinden akım geçmesi sonucu oluşmaktadır. Üretilen ısının devre elemanlarından uzaklaştırılmasında ise iletim, taşınım ve ışınım olmak üzere üç temel ısı transfer mekanizması rol oynamaktadır. Bu ısı transfer mekanizmaları elektronik sistemlerin tasarlanması ve işleyişinde büyük öneme sahiptir.

İletim (kondüksiyon) ile ısı transferi bir molekülün sahip olduğu kinetik enerjinin diğer moleküle aktarılması yoluyla gerçekleşmektedir. Bu mekanizma katı bir cisim için ele alındığında sıcak bölgeden soğuk bölgeye doğru bir iletim söz konusudur. Aynı şekilde gaz ve sıvı molekülleri arasında da iletim ile ısı transferi gerçekleşmekte fakat belirli bir geometri için katı bir cisimle kıyaslandığında ısı transfer miktarı daha düşük olmaktadır.

Taşınım (konveksiyon) ile ısı transfer mekanizması ise katı bir yüzey ile bu yüzey üzerinde hareketli halde bulunan sıvı ya da gaz molekülleri arasındaki enerji aktarımıdır. İşleyiş bakımından iletim mekanizması ve akışkan hareketi etkilerini birlikte içermektedir. Akışkan hızının artırılması gaz ya da sıvı moleküllerin kinetik enerjisini artırarak yer değiştirmesini sağlamakta ve taşınım etkisini artırmaktadır. Akışkan hareketinin olmadığı katı çeperler üzerinde ise enerji aktarımı yalnızca iletim ile ısı transferi mekanizmasıyla gerçekleşmektedir. Taşınım ile ısı transferi kendi içerisinde de doğal ve zorlanmış konveksiyon olmak üzere iki farklı şekilde incelenebilir.

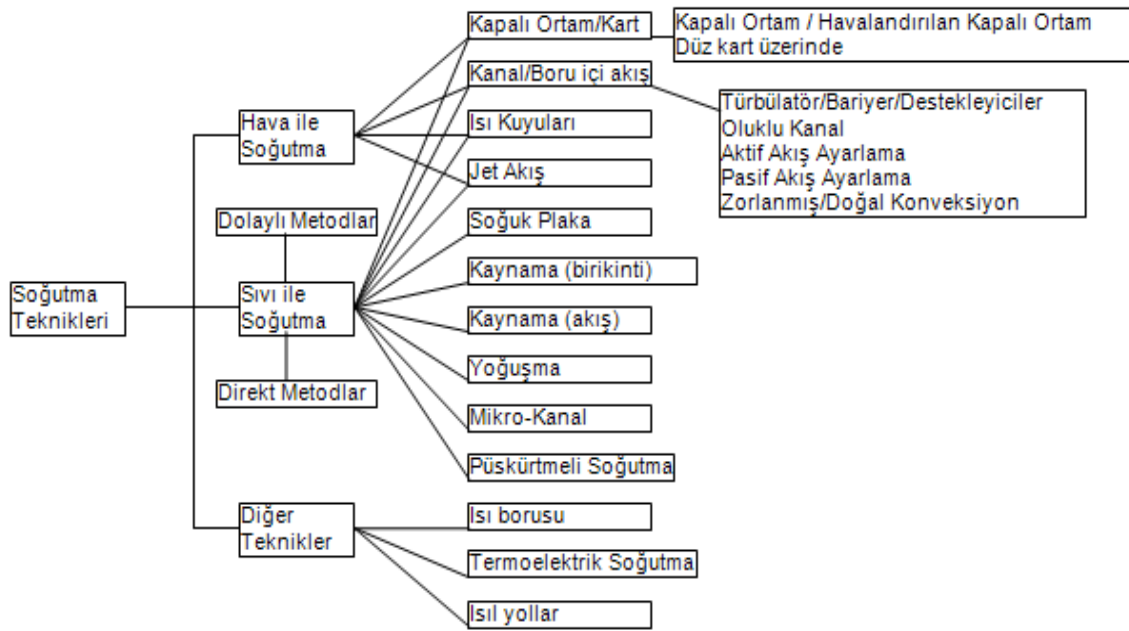
Doğal konveksiyonla gerçekleşen ısı transferi yalnızca akışkandaki yoğunluk değişimi neticesinde meydana gelmektedir. Sıcaklığı artan akışkan genleşme eğilimi gösterir ve yoğunluğu azalır. Bu durumda da yerçekimi etkisine bağlı olarak akışkan yükselerek yer değiştirmektedir. Akışkanın bu hareketi, ısının soğutulması istenilen ortamdan uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Bu nedenle doğal konveksiyon fan vb. soğutma cihazları kullanılmaması nedeni ile enerji gereksinimi olmayan bir ısı transfer mekanizmasıdır. Fakat bu ısı transfer mekanizmasının yapılan çalışmalar sonucunda düşük ısı akılarında uygun soğutma koşulları sağlayabildiği anlaşılmıştır.

Zorlanmış konveksiyon etkisi ise akışkanın fan, üfleç ve pompa gibi cihazlarla hızının artırılarak ısıtılan yüzeyler üzerinden geçirilmesi ile oluşmaktadır. Yüksek akış hızları ısı transfer katsayısını artırması nedeni ile soğutma koşullarını iyileştirmektedir. Diğer yandan akış hızının artırılması için kullanılan ekipmanlar sebebiyle enerji ihtiyacı da yükselmektedir. Ayrıca akış hızına paralel olarak basınç kayıplarının yükselmesi, kullanılan cihazların basınç düşmesi sonucu ortaya çıkan akış direncini yenmesi için gerekli güç miktarını artırmaktadır.

Zorlanmış ve doğal konveksiyonun etkisini birlikte içeren ısı transfer mekanizması ise karışık konveksiyon olarak adlandırılmaktadır. Enerji ihtiyacını azaltması sebebi ile yaygın olarak kullanılmakta ve birçok durumda yeterli soğutma şartlarını sağlayabilmektedir.

Isı transfer mekanizmalarından bir diğeri ise cisimlerin sıcaklıklarından ötürü yaydıkları elektromanyetik dalgalarla enerji alışverişinin gerçekleştiği ışınım (radyasyon) ile ısı transferidir. Isınan cisimler her yönde enerji yaymakta ve diğer cisimler ise kendilerine ulaşan bu enerjiyi emerek ısı transferinin geçişini sağlamaktadır.

Yukarıda anlatılan ısı transfer mekanizmalarına bağlı olarak elektronik sistemlerin soğutulmasında uygulanan yöntemler genel olarak şekil 2.1'de gösterilmiştir. Bu yöntemlerin, soğutma kapasitesi, gerekli enerji miktarı, bakım-onarım kolaylığı vb. özellikleri kullanım alanlarını farklılaştırmaktadır. Bu çalışmada ise akışkan olarak havanın kullanıldığı kanal içi akışta yer alan karışık konveksiyonla soğutma koşullarını içeren ısı transfer mekanizması uygulanmıştır. Ayrıca zorlanmış ve doğal konveksiyon şartları da oluşturularak ısı transferi ve sıcaklık dağılımı bakımından karşılaştırmalar yapılmıştır.



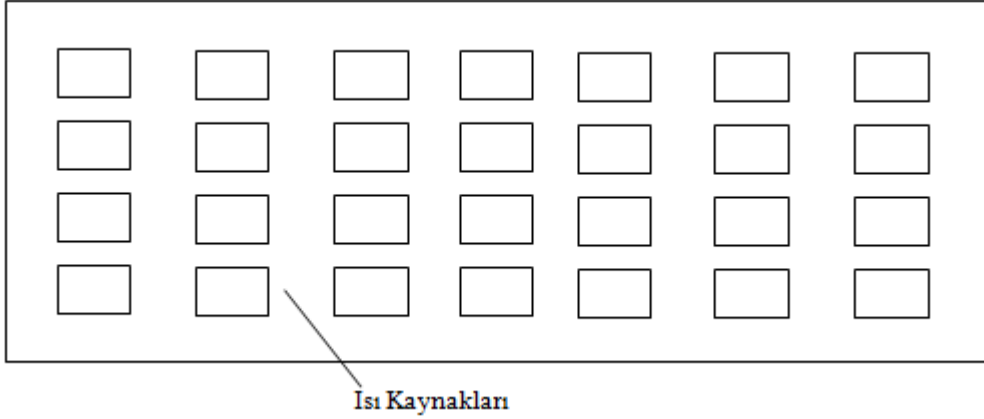
Şekil 2.1. Elektronik sistemlerde kullanılan genel soğutma teknikleri [1]

## 2.1. Tez Konusu ile İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar

Elektronik cihazların soğutulması ve ısı transferinin artırılmasına yönelik literatürde yer alan birçok sayısal ve deneysel çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda Resim 2.1 ve Şekil 2.2’de görüldüğü gibi, elektronik devre kartındaki yongalar dikdörtgen ısı kaynakları şeklinde temsil edilmiştir. Çalışmaların bir kısmında ısı kaynakları kanal yüzeyi ile aynı seviyede bir kısmında ise çıkıntılı olarak modellenmiş ve uygun soğutma koşullarının sağlanabilmesi için farklı akış koşullarının, kanal ve ısı kaynaklarının farklı yerleşim düzenlerinin, sıcaklık dağılımı ve ısı transferi üzerine etkileri incelenmiştir.



Resim 2.1. Elektronik devre kartı [1]



Şekil 2.2. Elektronik yongaların dikdörtgen şekilli ısı kaynakları şeklinde modellenmesi

Farklı açılarda eğik olarak konumlandırılan bir kanalın alt bölgesine yerleştirilen ısı kaynaklarından karışık konveksiyonla olan ısı transferi Maughan ve Incropera tarafından deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada yüzey ısı akısının ve kanal açısının Nu sayısı dağılımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Akışkan olarak hava kullanılmış ve Pr sayısı 0,7 alınmıştır. Deneyler  $125 \leq Re \leq 500$ ,  $7 \times 10^3 \leq Gr \leq 1 \times 10^6$  ve  $0 \leq \theta \leq 30^\circ$  aralıklarında yapılmıştır. Kanalın eğim açısının artışı ile birlikte kaldırma kuvveti etkili ikincil akışa bağlı olarak ısı transferinin de arttığı gözlemlenmiştir [2].

Hamouche ve Rachid ise laminer akış şartlarında alt yüzeyinde aynı özelliklere sahip iki çıkıntılı ısı kaynağı bulunan yatay bir kanaldaki karışık konveksiyonla ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Korunum denklemleri sonlu hacimler yöntemi ve SIMPLER algoritması kullanılarak çözülmüştür. Bu sonuçlar doğrultusunda  $Pr=0,71$  ve  $5 \leq Re \leq 30$  aralığında ısı transferinin önemli ölçüde arttığı vurgulanmıştır. Diğer yandan ısı kaynakları arası mesafenin, ısı kaynaklarının yükseklikleri ve genişliklerinin artırılması ile de ısı transferi miktarının arttığı gözlemlenmiştir [3].

Dikdörtgen şekilli bir kanalın tabanına yerleştirilmiş olan 3x4'lük dizi şeklindeki ayrık ısı kaynaklarından karışık konveksiyonla olan ısı transferi Mahaney vd. tarafından incelenmiştir. Çalışmada Re, Pr ve Ra sayılarına sırası ile  $200 \leq Re \leq 400$ ,  $0,7 \leq Pr \leq 30$  ve  $0 \leq Ra \leq 8,5 \times 10^5$  aralıklarında değerler verilmiştir. Çalışma sonucunda laminer akış koşullarında  $Re \geq 400$  için kanal boyunca Nu sayısının azaldığı,  $Re \leq 300$  olduğu durumda ise kaldırma kuvvetinin oluşturduğu ikincil akış etkisi ile Nu sayısının kanal boyunca arttığını gözlemlenmiştir [4].

Doğan vd. yaptıkları çalışmada kanalın alt ve üst yüzeylerine 8x4'lük dizi halinde yerleştirilmiş ısı kaynaklarından karışık konveksiyonla olan ısı transferini deneysel olarak incelemiştir. Deneysel sonuçlar en/yükseklik oranı  $AR=6$ ,  $955 \leq Re \leq 2220$ ,  $1,7 \times 10^6 \leq Gr^* \leq 6,7 \times 10^6$  aralıklarındaki Re ve Gr sayıları için elde edilmiştir. Sonuçlara göre Gr sayısının artması ile yüzey sıcaklıklarının da arttığı görülmüştür. İlk sıradaki diziden itibaren Nu sayısının azaldığı, son dizi sıralarına doğru kaldırma kuvvetinden oluşan ikincil akışın etkisi ile Nu sayısının arttığı belirlenmiştir [5,6].

Pırasacı ve Sivrioğlu ise dikdörtgen kanal içerisine 8x4'lük dizi halinde yerleştirilmiş alt ve üst yüzeydeki çıkıntılı ısı kaynaklarından karışık konveksiyonla gerçekleşen ısı transferini deneysel olarak incelemiştir. Deneysel veriler farklı kanal en/yükseklik oranları (1/2, 1/4, 3/20), değişken Re sayıları ve Gr sayıları için elde edilmiş ve en/yükseklik oranının artışı ile birlikte kaldırma kuvvetinden kaynaklanan ikincil akışın daha etkin olduğunu ortaya konulmuştur [7].

Wu ve Perng yaptıkları sayısal çalışmada kanal tabanına yerleştirilmiş olan beş adet çıkıntılı ısı kaynağından karışık konveksiyonla olan ısı transferini ve kanal girişine yerleştirilmiş olan eğimli bir plakanın sıcaklık dağılımı ve ısı transferine etkisini incelemiştir. Sayısal sonuçlar 30-90° arasındaki plaka açıları, değişken Re (260-350) ve Gr (0-3200000) sayıları için elde edilmiştir. Belirli bir Re sayısı için Gr sayısının artırılması ile birlikte ısı transferinin arttığı, tüm ısı kaynaklarındaki ortalama Nu sayısının en yüksek değerine 60°'lik plaka açısında ulaşıldığı görülmüştür [8].

Yine Wu ve Perng tarafından yapılan bir çalışmada yatay bir kanal içerisindeki üç adet çıkıntılı ısı kaynağından karışık konveksiyonla olan ısı transferi, kanal girişine dikdörtgen şekilli bir çubuğun dik olarak konulması durumunda sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal sonuçlar  $Re=5000$  için dikdörtgen çubuğun değişken en/yükseklik oranları (0,25,0,5 ve 1) ve değişken Gr sayılarında (0-5x108) elde edilmiştir. En/yükseklik oranının 0,25 olduğu durumda ortalama Nu sayısının türbülantör olmayan duruma göre en fazla artış gösterdiği belirtilmiştir [9].

Yatay bir kanalın alt yüzeyine yerleştirilmiş olan ısı kaynaklarından zorlanmış konveksiyonla ısı transferi ve kanal girişine yerleştirilmiş olan üçgen şekilli bir plakanın ısı transferi artırımına etkisi ise sayısal olarak Oztop vd. tarafından incelenmiştir. Üçgen

şekilli plaka düşey doğrultuda iki farklı noktaya yerleştirilmiş ve sonuçlar  $400 < Re < 1300$  aralığında test edilmiştir. Ayrıca sonuçlar üçgen plakanın olmadığı durumla karşılaştırılmıştır. Çalışmada tüm Re sayılarında üçgen çubuğun olmadığı duruma göre ısı transferinin arttığı ve en yüksek ısı transferinin üçgen çubuğun kanal girişinde alt yüzeyden  $y=3.5$  birim yükseklikte iken meydana geldiği görülmüştür [10].

Korichi vd. alt yüzeyinde 3 adet çıkıntılı ısı kaynağı bulunan kanalın, üst yüzeylerine periyodik şekilde levhalar yerleştirilmesi durumunda ısı kaynaklarından olan ısı transferini incelemiştir. Değişken levha uzunlukları (0,25, 0,32), açıları ( $45^\circ, 60^\circ$ ) ve farklı Re (250-1000) sayıları için sayısal analiz yapılmış ve bunun sonucunda ısı transferinin levhaların olmadığı duruma göre arttığını göstermiştir. Re sayısının artması ile birlikte ısı transferi de artmakta ve en fazla artışın levha uzunluğunun 0,32 değeri ve  $60^\circ$  levha açısı için meydana geldiği görülmektedir [11].

Fu ve Tong ise alt yüzeyinde 4 adet çıkıntılı ısı kaynağı bulunan kanalın girişine titreşim yapan silindir konulması durumunda ısı kaynaklarından olan ısı transferini ve sıcaklık dağılımını incelemiştir. Farklı Re sayıları, değişken silindir titreşim genlikleri ve frekansları için sayısal sonuçlar elde edilmiştir. Re sayısı  $100 \leq Re \leq 500$  aralığında alınmıştır. Sayısal sonuçlara göre en fazla ısı transferi artışı titreşim frekansının 0,2 genliğinin ise 0,1 olduğu durumda meydana gelmiştir. Ayrıca aynı titreşim frekans ve genlikleri için Re sayısının artırılması sonucunda ısı transferinin de arttığı görülmektedir [12].

Davidson yatay bir kanal içerisine yerleştirilmiş olan akış yönlendirici plakanın ısı transferi ve basınç düşümüne etkilerini sayısal çalışma sonucu ortaya koymuştur. Yapılan çalışmada kararsız akış şartları için Re sayısının  $Re=400-1500$  arası değerlerinde plakanın eğim açısının ve kalınlığının ısı transferi ve basınç düşümüne etkilerini, sayısal çözümleme kullanılan farklı matematiksel yöntemlerin elde edilen sonuçlar açısından farklılık teşkil edip etmediğini araştırmıştır [13].

Myrum ve diğerleri ise yivli bir kanal içerisine silindirik şekilli bir akış yönlendirici yerleştirilmesi durumunda oluşan ısı transferi ve entropi değişimini deneysel olarak araştırmıştır. İncelemede  $Re=3450$  değeri için farklı çaplardaki silindirik akış yönlendirici

kullanılmış ve çap değerinin artması ile birlikte ısı transferi miktarının yükseldiği, birim uzunluktaki ısıtılan alan için entropi değişiminin azaldığı belirlenmiştir [14].

Yatay bir kanal içerisine dikdörtgen şekilli akış yönlendirici plakanın periyodik şekilde yerleştirilerek bu yerleşim düzeninin akış kararlılığı ve ısı transferi üzerine etkileri iki boyutlu sayısal bir çalışma ile Valencia tarafından ortaya konulmuştur. Geçişli ve kararsız akış şartlarında  $Re=100-400$  arası değerleri için inceleme yapılmış ve düşük  $Re$  sayısı değerlerinde akışın düzgün salınımlı bir yapıda periyodik şekilde gerçekleştiği, yüksek  $Re$  sayısı değerlerinde ise akışın genlik ve frekansının yükselerek tamamen kararsız hale geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca plakalar arası mesafenin akış karakteristiği ve ısı transferi üzerine etkileri araştırılmıştır [15].

Chompookham vd. ise içerisinde üçgen kama şekilli yivlerin bulunduğu kanalın giriş kısmına kanatçık tipi plaka yerleştirilmesinin ısı transferi ve sürtünme kayıplarına olan etkisini deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada türbülanslı akış şartları için plaka  $60^\circ$  açı ile yerleştirilmiştir. Farklı  $Re$  sayısı değerlerinde kanal girişinde plaka kullanımı ile ısı transferi artışının kanal alt ve üst yüzeyinde bulunan yivlerin birbirlerine göre konumlarının değiştirilmesi ile 17-20% oranında artırılabilirliğini göstermişlerdir [16].

Alt yüzeyi ısıtılan yatay bir kanal içerisinde, ısıtılan yüzey üzerine hareketli dikdörtgen bir blok yerleşiminin ısı transferi artışına etkileri yapılan sayısal çalışma ile Fu vd. tarafından araştırılmıştır. Yapılan çalışmada bloğun hareketi ile birlikte ısı tabakanın kaybolarak tekrar oluşması sonucunda ısı transferinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca bloğun hareket hızının ve pozisyonunun ısı transferi üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir [17].

Beig vd. alt yüzeyinde üç adet çıkıntılı ısı kaynağı bulunan yatay bir kanal içerisine üçgen şekilli bir akış yönlendirici yerleştirilmesinin ısı transferine etkilerini incelemiştir. Akış yönlendirici plakanın en yüksek ısı transferi artışını sağlaması için gerekli konumunun belirlenebilmesinde optimizasyon algoritması kullanmış ve plakanın en uygun pozisyonun hava hızından bağımsız olduğu ortaya konulmuştur. Akışın şeklini etkileyen parametrenin yalnızca akış yönlendirici plakanın konumu olduğu anlaşılmıştır [18].

Pergn vd. ise alt yüzeyinde beş adet çıkıntılı ısı kaynağı bulunan yatay bir kanal içerisine delikli dikdörtgen bir plaka yerleşiminin zamana bağlı kararlı olmayan akış şartlarında ısı

transferi artışına etkilerini incelemişlerdir. Isı transferi değerleri değişken Re sayıları ve en/boy oranları için elde edilmiş olup Re sayısı ve en/boy oranının artırılmasının ısı transferini artırdığı anlaşılmıştır. Diğer yandan plakalı ve plakasız durumlar birbirleri ile karşılaştırılarak plakanın delikli yapısının ısı transferi üzerindeki etkisinin ihmal edilebilir seviyede olduğu belirtilmiştir [19].

Sohankar'ın yaptığı sayısal çalışmada dikdörtgen yatay bir kanalın alt yüzeyine V şekilli konumda plaka yerleşimi yapılarak plaka açısı ve kanal yüksekliğinin ısı transferi ve basınç kaybı üzerine etkileri ortaya konulmuştur. Zamana bağlı kararsız akış şartları kullanılmış olup Re sayısı değerleri 200 ile 2000 arasında, plaka açıları ise  $10^\circ$  ile  $30^\circ$  arasında değiştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda düşük Re sayısı değerlerinde akışın kararlı yüksek Re sayısı değerlerinde ise kararsız yapıda olduğu anlaşılmıştır. Diğer yandan Re sayısının ve plaka açısının artırılmasının ısı transferini ve basınç kayıplarını da artırdığı gözlemlenmiştir [20].

Literatürde mevcut olan çalışmaların sonuçlarından da anlaşılacağı üzere kanal içerisine akış yönlendirici nesnelere (levha, silindir vb.) yerleştirilmesi; akış koşullarını değiştirerek ısı kaynaklarının yerleşim düzeni, levha açısı, uzunluğu ve kalınlığı, Re ve Gr sayıları, kanal en yükseklik oranı gibi parametrelere bağlı olarak ısı transferi miktarını farklı oranlarda etkilemiştir [21-48]. Ancak literatürde her iki kanal yüzeyinde ısıtıcı bulunan kanal içi akışlarda karışık konveksiyon durumunda akış yönlendirici plaka yerleşiminin ısı transferine etkisi konusunda detaylı analizler bulunmamaktadır. Bu nedenle önce, alt ve üst yüzeylerinde çıkıntılı ısı kaynağı bulunan yatay bir kanal içerisine plaka yerleşimi gerçekleştirilerek laminar akış ve karışık konveksiyon şartlarında ısıtıcılardaki ısı transferi ve sıcaklık dağılımı deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Daha sonra yan yüzeyinde ısı kaynakları bulunan aynı kanal içerisindeki ısı transferi ve sıcaklık dağılımı sadece sayısal olarak analiz edilmiştir. Böylece elektronik yongaların soğutulmasında, plaka kullanımının faydalı olabileceği soğutma koşulları, kanal ve plaka yerleşim düzenleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonunda ise değişken Re ve  $Gr^*$  sayıları, plaka açıları ve plakalar arası mesafelerin kanal yüksekliğine oranlarının ( $L_p/H$ ) farklı değerleri için elde edilen sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur.



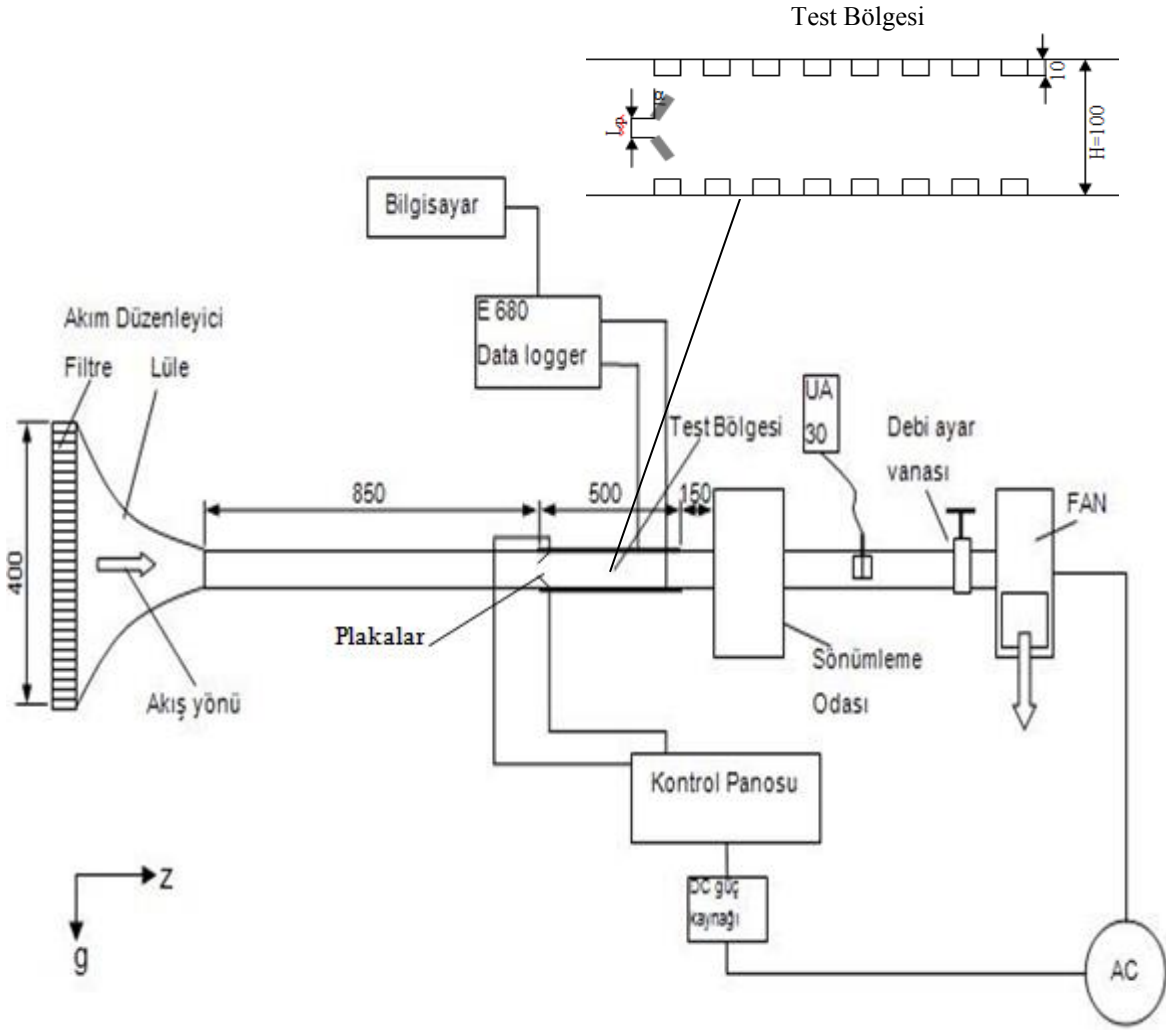
### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada akış yönlendirici plakaların yatay bir kanal içerisinde bulunan çıkıntılı ısı kaynaklarından karışık konveksiyonla olan laminar ısı transferine etkisinin incelenmesi için Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı ısı taşınımı deneylerinin yapıldığı kısımdaki Resim 3.1’de gösterilen mevcut deney düzeneği kullanılmıştır [1]. Deneysel çalışmalar, ısıtıcılar kanal alt ve üst yüzeyinde iken test bölgesinde plakaların bulunduğu ve bulunmadığı durumlar için gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1’de ise mevcut deney düzeneğinin şematik görünümü verilmektedir.

Şekil 3.1’de görülen deney düzeneği genel olarak bir fan, bir akım düzenleyici, test bölgesi, test bölgesini fandan ayırmak için sönümleme odası, DC güç ünitesi ile birlikte kontrol panosu ve veri toplama sisteminden oluşmaktadır. Test bölgesinin öncesinde belirli miktarda mesafe bırakılmıştır. Bu sayede test bölgesindeki akışın kanal girişindeki etkilerden bağımsız olarak gelişmiş olması sağlanmıştır. Diğer yandan kanal çıkışındaki akışın da test bölgesindeki etkilerden bağımsız olabilmesi için kanal çıkışı da bir miktar uzatılmıştır. Test bölgesi dikdörtgen kanal şeklinde olup alt ve üst duvarlarında 4x8’lik diziler halinde toplamda 64 adet ısı kaynağı ve test bölgesi girişinde 2 adet plaka mevcuttur.



Resim 3.1. Deney düzeneği



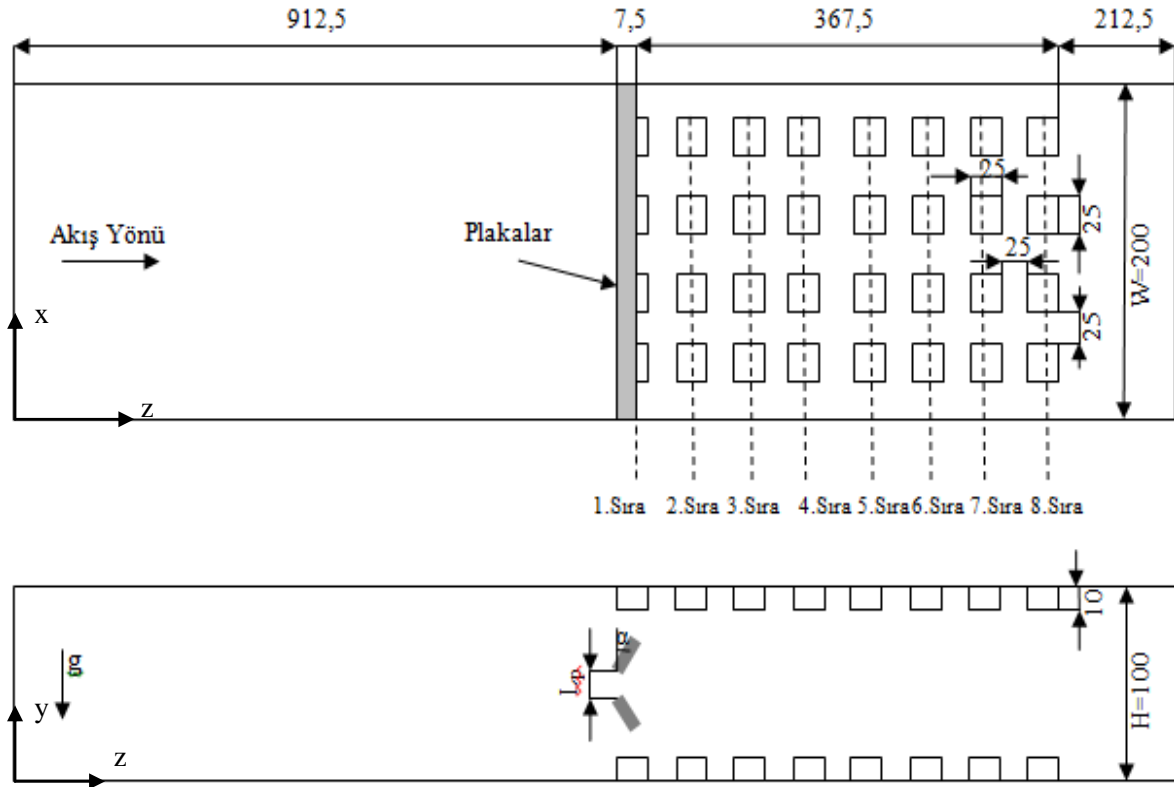
Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik görünümü (Ölçüler milimetre cinsindedir.)

### 3.1. Test Bölgesi ve Kanal

Test bölgesi, 500 mm uzunluğunda içerisinde ısıtıcı bloklar ve plakaların bulunduğu dikdörtgen şekilli bir kanaldır. Kanalın test bölgesinden önceki 850 mm uzunluğundaki kısmı test bölgesindeki akışın kanal girişindeki etkilerden bağımsız olması ve hız sınır tabakası kalınlığının kanal yükseklik değerinin yarısına yakın olması amacı ile oluşturulmuştur. Benzer şekilde test bölgesindeki akışın kanal çıkışındaki etkilerden bağımsız olması için ise test bölgesinden sonra 150 mm mesafe bırakılmıştır. Plakalar test bölgesindeki alt ve üst yüzeyde bulunan ilk ısıtıcı sırası hizasına yerleştirilmiştir.

Kanal yan duvarlarında ise y eksenine  $\alpha=30^\circ$  açı oluşturacak şekilde plakaların geçmesi için gerekli delikler bulunmaktadır. Kanal içerisinde, ısıtıcı bloklar ve plakaların

bulunduğu test bölgesi hariç tüm yüzeyler pleksiglas malzemeden üretilmiştir. Test bölgesinde ise yüksek sıcaklıklara dayanıklı 5mm kalınlığında teflon (PTFE) malzeme kullanılmıştır. Kanal çevresi 50mm kalınlığında köpük (foamboard) yalıtım malzemesi kullanılarak yalıtılmıştır. Isıtıcı bloklar ve plakaların yerleşimi ile kanal boyutları Şekil 3.2’de ayrıntılı olarak verilmektedir.

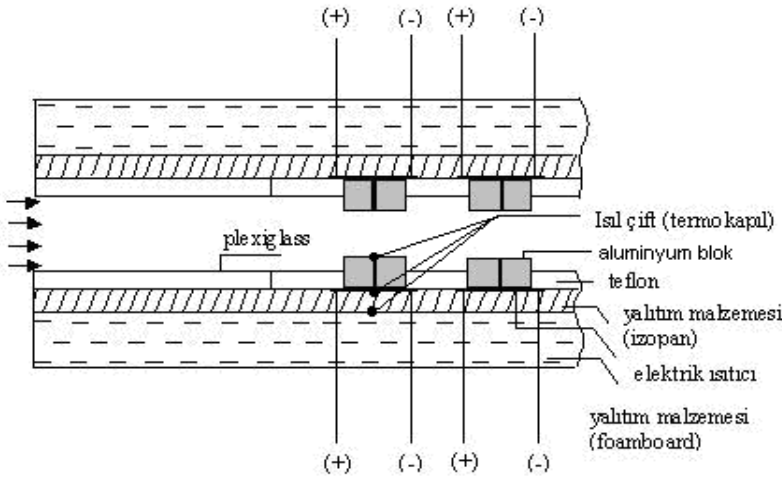


Şekil 3.2. Kanal içerisindeki ısıtıcı ve plakaların yerleşim düzeni (Ölçüler milimetre cinsindedir.)

Boyutları 25mm x 25mm x 10mm olan alüminyum malzemeden yapılmış ısıtıcı blokların test bölgesindeki yerleşimi Resim 3.2’de görülmektedir. Kanal alt ve üst kısımlarında kullanılmış olan köpük (foamboard) yalıtım malzemesinin sıcaklıktan etkilenmemesi için ısıtıcılar ile yalıtım malzemesinin arasına 20 mm kalınlığında izopan malzeme yerleştirilmiştir. Isıtıcı bloklardan yalıtım malzemesine olan ısı kayıplarının belirlenebilmesi için Şekil 3.3’de gösterildiği gibi izopan malzemenin her iki yüzeyinde blokların hizasına gelecek şekilde ısı çiftleri bulunmaktadır. Isıl blokların sıcaklıklarının ölçülmesi için konulan ısı çiftleriyle birlikte her blok için toplam 3 adet ısı çifti (termokupl) kullanılmıştır.

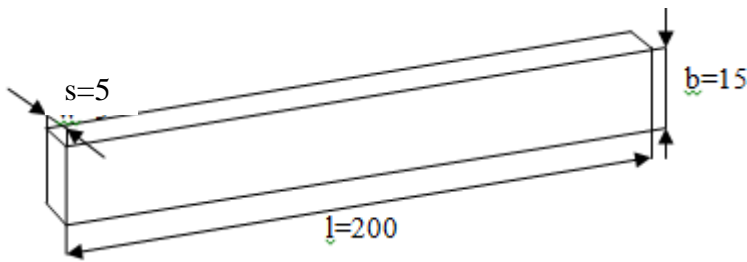


Resim 3.2. Test bölgesindeki alüminyum ısıtıcı bloklar

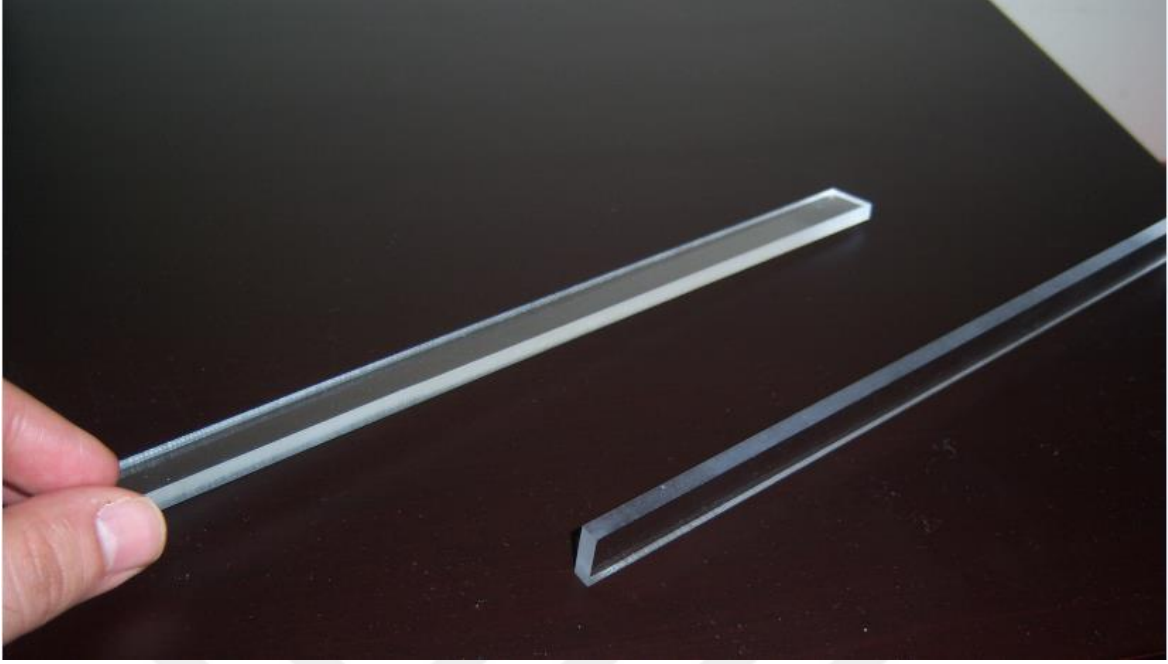


Şekil 3.3. Isıtıcı blokların yerleşimi

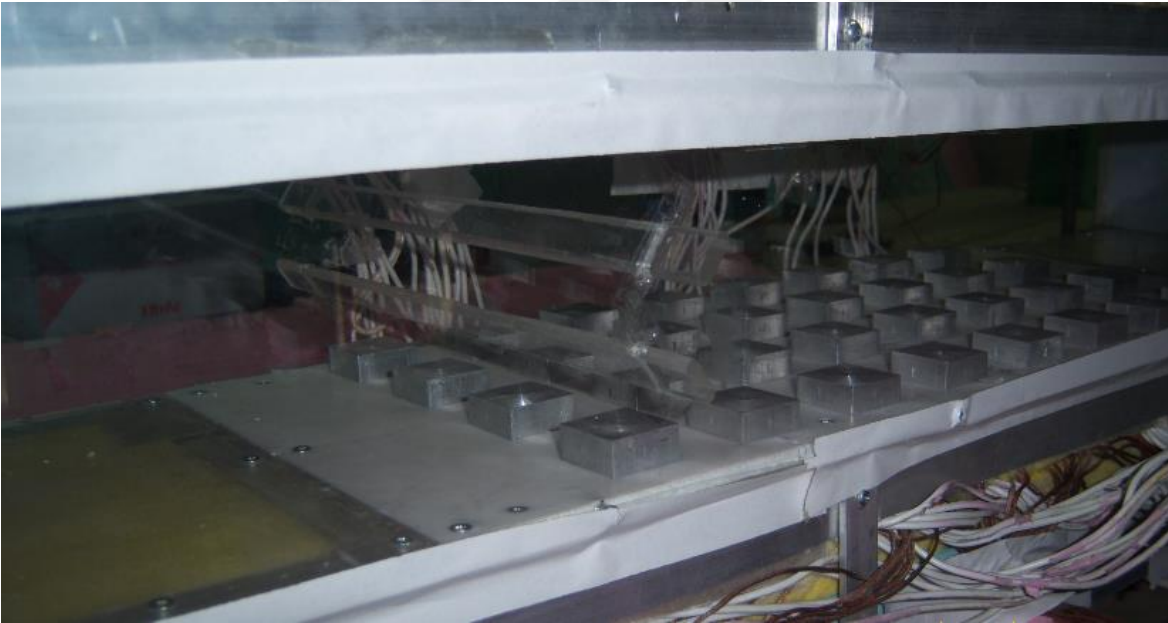
Test bölgesindeki plakalar ise şeffaf pleksiglas malzemeden yapılmış olup ölçüleri Şekil 3.4'de gösterilmektedir. Test bölgesinde, kanal alt ve üst yüzeyindeki ilk ısıtıcı sırası hizasına  $L_p=15\text{mm}$  olacak şekilde  $\alpha=30^\circ$  açı ile kanal genişliği boyunca yerleştirilen pleksiglas plakalar ve yerleşim düzenleri sırası ile Resim 3.3 ve 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Pleksiglas plaka boyutları (ölçüler milimetre cinsindedir.)



Resim 3.3. Pleksiglas plakalar

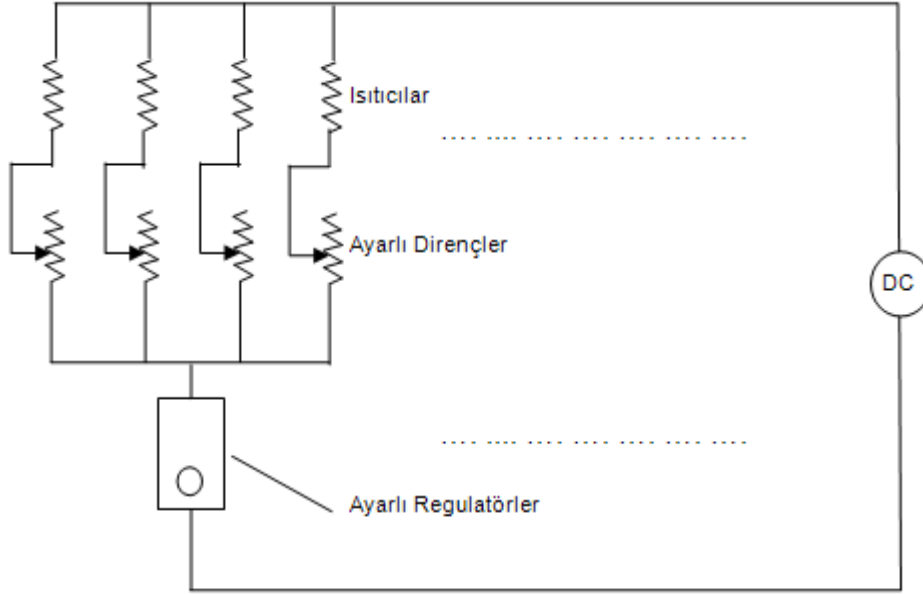


Resim 3.4. Plakaların ısıtıcı bölgesindeki yerleşim düzeni.

### 3.2. Güç Kaynağı ve Kontrol Panosu

Deneylerde ısıtıcılar için gerekli akımın elde edilebilmesinde bir DC güç kaynağı ve kontrol panosu kullanılmaktadır. Kontrol panosu üzerinde direnç miktarları değiştirilerek istenilen akım değerleri elde edilebilmektedir. Ayrıca kontrol panosunda gerilimlerin %1

hassasiyetle sabit ve istenilen değerde olmasını sağlayacak şekilde düşük voltaj g¼c reg¼lat¼r¼ devreleri bulunmaktadır. Kontrol panosunun devre Şeması Şekil 3.5’de imalatının yapılmış hali ise Resim 3.5’de g¼r¼lmektedir.



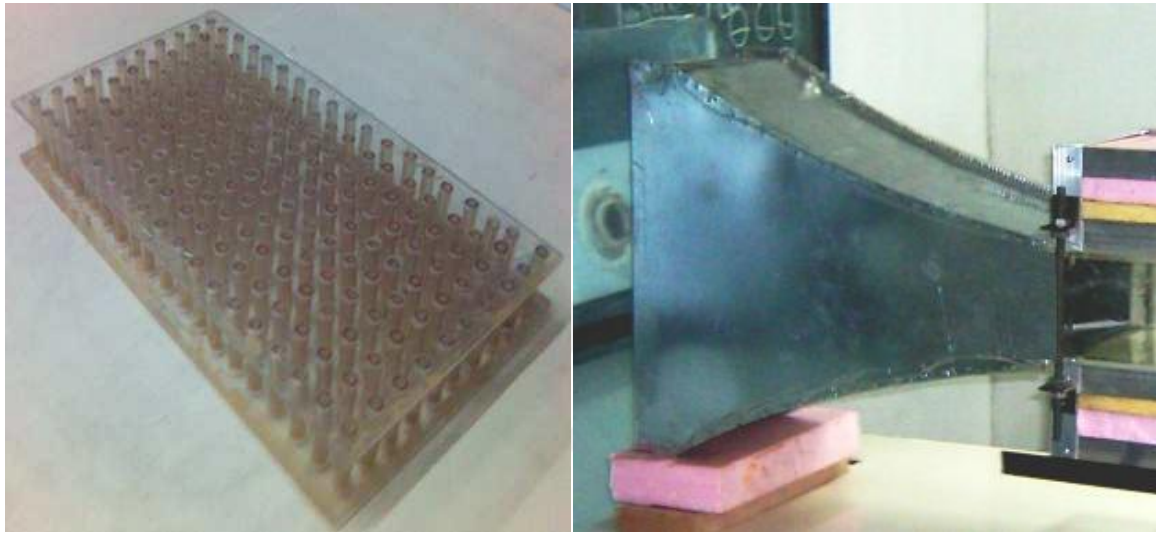
Şekil 3.5. Kontrol panosu devre Şeması



Resim 3.5. Kontrol panosu ve g¼c kaynağı

### 3.3. Akım Düzenleyici

Akım düzenleyici kanal içerisinde uniform hız profili sağlanması amacıyla kanal girişine yerleştirilmiştir. Akış düzeltici (Resim 3.6a) ve lüleden (Resim 3.6b) meydana gelmektedir. Akış düzeltici 5mm çapında ve 50mm uzunluğundaki hortumlardan oluşmuştur. Lüle ise 0,5mm kalınlığındaki alüminyum plakalar kullanılarak imal edilmiştir. Akım düzenleyici sayesinde düzgün akış çizgileri elde edilerek test bölgesine girişte hız profilinin uniform olmasına çalışılmıştır.



a)

b)

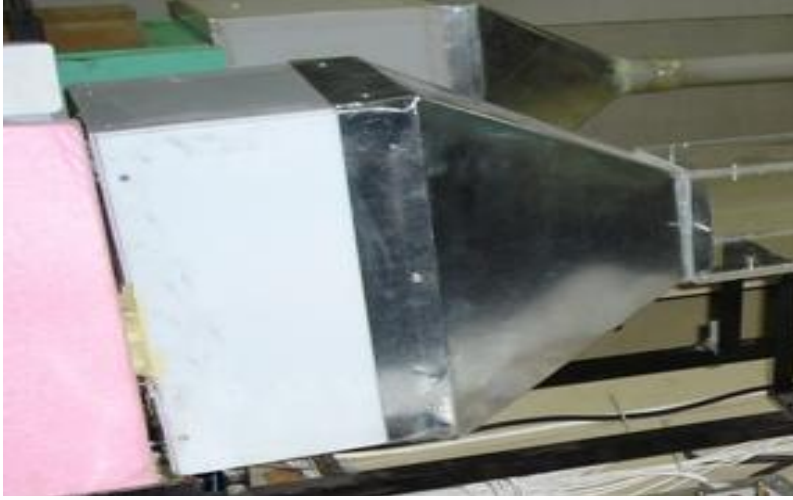
Resim 3.6. Akım düzenleyici a) Akış düzeltici b) Lüle

### 3.4. Sönümlenme Odası

Sönümlenme odası, test bölgesini mekanik ve akustik olarak fandan ayırmak ve fanın akışkan emişinin uniform olmasını sağlamak amacıyla kullanılmıştır (Resim 3.7).

### 3.5. Deneysel Verilerin Toplanması ve Ölçüm Sistemi

Deneysel verilerin toplanması için sıcaklık, hava hızı ve basınç gibi değişkenlerin ölçülmesi gerekmektedir. Bu sebeple ısı kaynaklarına uygulanan gerilim ve akımı ölçmek için bir multimetre, sıcaklık ölçümü için ısı eleman çiftleri (termokupl), bu ısı eleman çiftleri ile ilişkilendirilmiş bir veri toplama sistemi ve hava hızının ölçülmesi için bir ultrasonik anemometre kullanılmaktadır.



Resim 3.7. Sönümlenme odası

### 3.5.1. Multimetre

Hesaplamalar için gerekli akım, direnç ve gerilim değerlerinin elde edilmesinde Resim 3.8'de gösterilen Protek 506 dijital multimetre kullanılmıştır. Ölçüm aralıkları ve hassasiyetlerini içeren cihaz özellikleri ise Çizelge 3.1 ile verilmiştir.



Resim 3.8. Protek 506 dijital multimetre



Çizelge 3.1. Protek 506 multimetrenin özellikleri

|           |            |   |                            |
|-----------|------------|---|----------------------------|
| DC Voltaj | Kademe     | 400mV-1000V   |                            |
|           | Çözünürlük | 0,1mV   |                            |
|           | Doğruluk   | 0,1%  |                            |
| Direnç    | Kademe     | 400 $\Omega$ , 4K $\Omega$ , 40K $\Omega$ , 400K $\Omega$ | 4M $\Omega$ , 40M $\Omega$ |
|           | Çözünürlük | 0,1 $\Omega$ , 1 $\Omega$ , 10 $\Omega$ , 100 $\Omega$    | 1K $\Omega$ , 10K $\Omega$ |
|           | Doğruluk   | 0,5%  | 1%                         |

### 3.5.2. Veri toplama sistemi

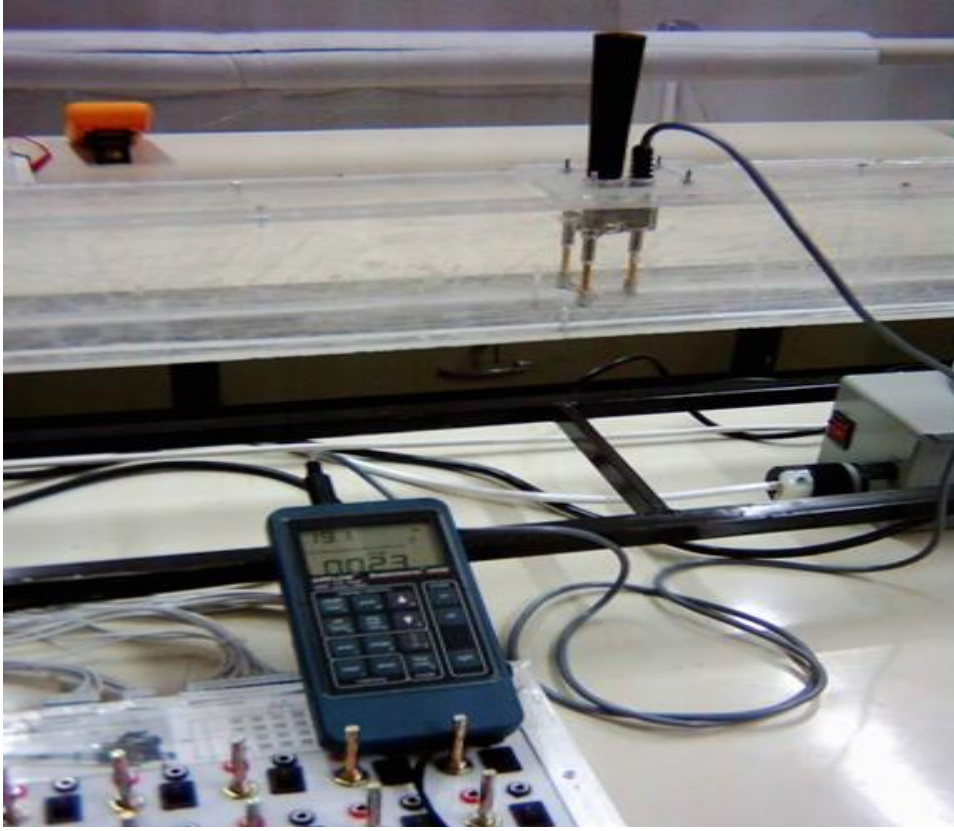
Sıcaklık ölçümleri için 30-gage bakır-constantan ısıl eleman çiftleri (termokupl) kullanılmıştır. Sıcaklık değerlerinin 0,1°C' dan daha az hata içerek şekilde ölçülebilmesi için Technovate kalibrasyon cihazı kullanılarak ısıl eleman çiftleri kalibre edilmiştir. Isıl eleman çiftlerinin çıkışları ise bilgisayar iletişimli ELİMKO 680 veri toplama cihazlarına bağlanmıştır (Resim 3.9).



Resim 3.9. ELİMKO 680 veri toplama sistemi

### 3.5.3. Hız ölçer

Deneyleer sırasındaki akış hızının ölçülmesinde 0-30 m/s hız aralığında %1 hassasiyetle ölçüm yapabilen Airflow UA30 ultrasonik anemometre kullanılmıştır (Resim 3.10). Hız ölçümü değerleri, anemometre probunun Resim 3.10'da gösterildiği gibi kanal içerisinde uygun bir noktaya daldırılması ve cihazın belirlenen bir zaman aralığı için ölçülen hız değerlerinin ortalamasını alması ile elde edilmiştir.



Resim 3.10. Airflow UA30 ultrasonik anemometre

### 3.6. Deneysel Verilerin Analizi

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda ısı transferi ve sıcaklık dağılımına etki eden boyutsuz parametreler aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Boyutsuz parametrelerin hesaplanmasında, karakteristik uzunluk olarak hidrolik çap ifadesi kullanılmıştır,

$$D_H = \frac{4A_k}{P_\zeta} \quad (3.1)$$

Burada  $D_H$  hidrolik çapı,  $A_k$  kanalın kesit alanını,  $P_\zeta$  kanalın çevre uzunluğunu ifade etmektedir.

Akışın laminar koşullar altında gerçekleştirildiğinin ifade edilebilmesi için ise  $Re$  sayısı Eş. 3.2 ile belirlenmiştir,

$$Re = \frac{w_{giriş} D_H}{\nu} \quad (3.2)$$

Eşitlikte  $w_{giriş}$  havanın kanala giriş hızını belirtmekte olup deneyler sırasında ölçülmüştür. Havanın kinematik viskozitesi ise  $\nu$  ile gösterilmiştir.

Grashoff Sayısı ( $Gr$ ),

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_{giriş})_{ort} D_H^3}{\nu^2} \quad (3.3)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Burada  $T_s$  ısıtıcı yüzey sıcaklığını,  $T_{giriş}$  havanın kanala giriş sıcaklığını,  $g$  yerçekimi ivmesini,  $\beta$  ise havanın kanala giriş sıcaklığındaki genleşme katsayısını ifade etmektedir.  $(T_s - T_{giriş})_{ort}$  değeri 64 ısıtıcıdaki ortalama sıcaklık farkı göz önüne alınarak belirlenmiştir.

Düzeltilmiş Grashof Sayısı ( $Gr^*$ ) ise Eş. 3.4 ile bulunmuştur,

$$Gr^* = \frac{g\beta \dot{q}_{konv.ort} D_H^4}{k\nu^2} \quad (3.4)$$

Eşitlikte  $Gr$  sayısından farklı olarak  $\dot{q}_{konv.ort}$  64 ısıtıcıdaki ortalama konveksiyonla olan ısı akısı değerini,  $k$  ise havanın ısı iletim katsayısını göstermektedir. Ortalama konveksiyonla ısı akısı değeri ( $\dot{q}_{konv.ort}$ ), Eş. 3.5 ile verilen denklem kullanılarak her bir ısıtıcı için

konveksiyonla ısı akısı değerinin ( $\dot{q}_{\text{konv.}}$ ) hesaplanmasından sonra ortalamasının alınması ile bulunmuştur.

$$\dot{q}_{\text{konv.}} = \frac{\dot{Q}_{\text{konv.}}}{A_{\text{ısıtıcı}}} \quad (3.5)$$

Burada  $\dot{Q}_{\text{konv.}}$  her bir ısıtıcıdan olan konveksiyonla ısı transferini,  $A_{\text{ısıtıcı}}$  ise ısıtıcıların her birinin yüzey alanını ifade etmektedir.

Konveksiyon ile gerçekleşen ısı transferinin ne kadar iyi olduğunun belirlenmesi için kullanılan sıra ortalama Nusselt Sayısı ( $Nu_{\text{sıra ort.}}$ ),

$$Nu_{\text{sıra ort.}} = \frac{hD_H}{k} \quad (3.6)$$

ifadesi ile hesaplanmıştır. Burada  $h$  havanın taşınım katsayısını belirtmekte olup aşağıdaki eşitlik ile bulunmuştur,

$$h = \frac{\dot{q}_{\text{konv.sıra ort.}}}{(T_s - T_{\text{giriş}})_{\text{sıra ort.}}} \quad (3.7)$$

Eş.3.7'de  $\dot{q}_{\text{konv.sıra ort.}}$  dört ısıtıcı bloktan meydana gelen her bir ısıtıcı sırasındaki ortalama konveksiyonla ısı akısını,  $(T_s - T_{\text{giriş}})_{\text{sıra ort.}}$  ise ortalama sıcaklık farkını ifade etmektedir. Eş. 3.7, Eş. 3.6'da yerine yazılarak  $Nu_{\text{sıra ort.}}$  sayısı için aşağıdaki ifade elde edilmiştir.

$$Nu_{\text{sıra ort.}} = \frac{\dot{q}_{\text{konv.sıra ort.}} D_H}{k(T_s - T_{\text{giriş}})_{\text{sıra ort.}}} \quad (3.8)$$

Ayrıca doğal ve zorlanmış konveksiyonun baskın olduğu durumların belirlenebilmesi için Richardson sayısı (Ri), Re ve Gr sayılarına bağlı olarak aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$R_i = \frac{Gr}{Re^2} \quad (3.9)$$

Konveksiyon yolu ile gerçekleşen ısı transferinin belirlenmesi için enerji dengesi ifadesi kullanılmıştır.

$$\dot{Q}_{konv.} = \dot{Q}_{elektrik} - \dot{Q}_{kond.izolasyon} - \dot{Q}_{kond.yan} - \dot{Q}_{rad.} \quad (3.10)$$

Bu ifadedeki  $\dot{Q}_{elektrik}$  ısıtıcıya verilen ısı miktarını,  $\dot{Q}_{kond.izolasyon}$  ısıtıcıdan izopan yalıtıma iletim ile olan ısı kaybını,  $\dot{Q}_{kond.yan}$  ısıtıcının yan yüzeylerinden iletim ile olan ısı kaybını,  $\dot{Q}_{rad.}$  ise ısıtıcılardan radyasyon ile olan ısı kaybını belirtmektedir.

Isıtıcıya verilen ısı miktarı ( $\dot{Q}_{elektrik}$ ) ısıtıcılardaki gerilim düşüşü (V), ısıtıcı direnci ( $R_{ısıtıcı}$ ) ve kontrol panosuyla ısıtıcı arasındaki hattın direnci ile ısıtıcı direncinin toplamı olan toplam direnç ( $R_{toplam}$ ) kullanılarak aşağıdaki ifade ile hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{elektrik} = \frac{V^2 R_{ısıtıcı}}{R_{toplam}^2} \quad (3.11)$$

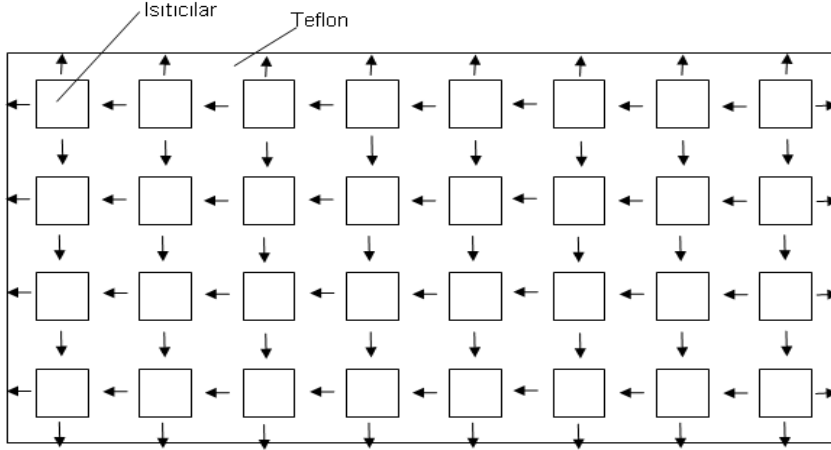
Isıtıcının izopan malzemeden olan ısı kayıplarının ( $\dot{Q}_{kond.izolasyon}$ ) bulunabilmesi için izopan içerisindeki ısı transferi ifadesi kullanılmıştır.

$$\dot{Q}_{kond.izolasyon} = \frac{k_{izopan} A (T_{izopanüst} - T_{izopanalt})}{L_{izopan}} \quad (3.12)$$

Bu ifadede  $k_{izopan}$  izopan yalıtımın ısı iletkenliğini,  $L_{izopan}$  izopan yalıtım kalınlığını, A ise ısı transfer alanını belirtmektedir. ( $T_{izopanüst} - T_{izopanalt}$ ) ifadesinde ısıtıcı hizasındaki yalıtımın alt ve üst yüzeyindeki sıcaklık farkıdır.

Isıtıcı yan yüzeylerinden olan kayıplarının ( $\dot{Q}_{kond.yan}$ ) belirlenmesinde ise (Şekil 3.6) teflon içerisindeki ısı iletim denklemi kullanılmıştır.

$$\dot{Q}_{\text{kond.yan}} = \frac{k_{\text{teflon}} A (T_{\text{ısıtıcı}} - T_{\text{komşusıcaklık}})}{L} \quad (3.13)$$



Şekil 3.6. Isıtıcı yan yüzeylerinden olan ısı kayıpları

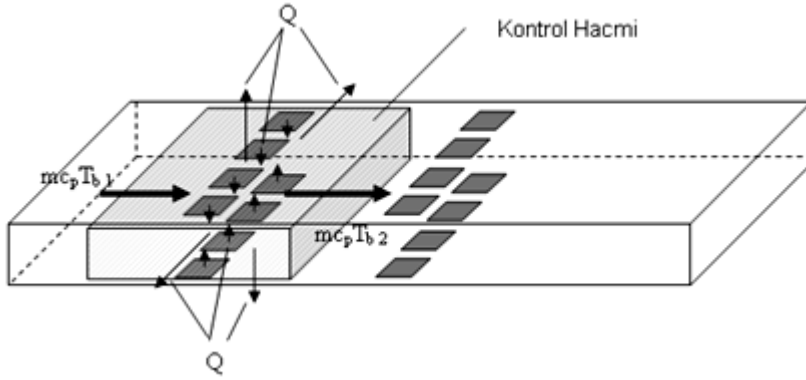
Burada  $T_{\text{ısıtıcı}}$  ölçülen ısıtıcı sıcaklığını,  $T_{\text{komşusıcaklık}}$  ise ısıtıcılar arasındaki ısı transferinin bulunması amacıyla komşu ısıtıcı sıcaklığını, teflonun kenarlarına olan ısı transferinin bulunması durumunda ise kenar sıcaklığını göstermektedir. Kenar sıcaklıklarının belirlenmesinde akışkan yığın sıcaklıkları ile köpük yalıtımdaki sıcaklık dağılımı dikkate alınmaktadır. Bu ifadede kullanılan  $k_{\text{teflon}}$  teflon plakasının ısıl iletkenliği,  $L$  ise ısıtıcı ile komşu sıcaklık değerinin alındığı nokta arası mesafedir.

Radyasyon ile ısı transferinin ( $\dot{Q}_{\text{rad.}}$ ) bulunmasında ise Eş. 3.14 kullanılmıştır.

$$\dot{Q}_{\text{rad.}} = \sigma \epsilon F A_{\text{ısıtıcı}} (T_s^4 - T_b^4) \quad (3.14)$$

Burada  $\sigma$  Stefan-Boltzmann sabiti,  $\epsilon$  alüminyum plakaların yayıcılık katsayısı,  $T_s$  ısıtıcı elemanların yüzey sıcaklıkları,  $T_b$  ise akışkan ortalama yığın sıcaklığıdır.  $F$  şekil faktörü ise  $F=1$  alınmıştır.

Yığın sıcaklıkları ( $T_b$ ), kanal içerisinde seçilen bir kontrol hacminde enerjinin korunumu prensibi uygulanarak hesaplanabilir. Burada soğutucu akışkan havadır ve ideal gaz olarak kabul edilmiştir. Enerjinin korunumu prensibinin sürekli şartlarda uygulanması, Şekil 3.7' de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Yığın sıcaklıklarının hesaplanması için seçilen kontrol hacmi

Şekil 3.7' ye göre enerji dengesi yazılırsa yığın sıcaklıkları için aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$$T_{b2} = \frac{\dot{Q}_{\text{top.k.h.}}}{m c_p} + T_{b1} \quad (3.15)$$

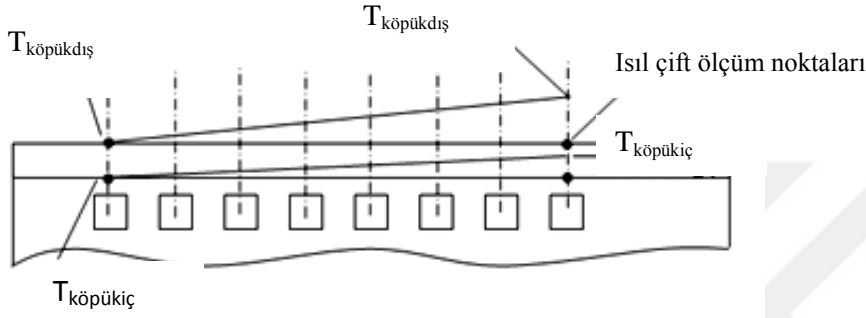
Bu ifadede  $m$  havanın kütledebisi,  $c_p$  özgül ısı,  $T_{b1}$  havanın ısıtıcı sırasına giriş sıcaklığı (ilk ısıtıcı sırası için  $T_{b1}$  akışkanın kanala giriş sıcaklığıdır.),  $T_{b2}$  ise havanın bir sonraki ısıtıcı sırasına giriş sıcaklığıdır.  $\dot{Q}_{\text{top.k.h.}}$  ise kontrol hacmindeki 8 ısıtıcıdan akışkana aktarılan toplam ısı enerjisi miktarıdır ve Eş.3.16 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{\text{top.k.h.}} = \dot{Q}_{\text{elek.k.h.}} - \dot{Q}_{\text{kond.izolasyon.k.h.}} - \dot{Q}_{\text{kond.yan.k.h.}} \quad (3.16)$$

Burada  $\dot{Q}_{\text{elek.k.h.}}$  kontrol hacmi içerisinde bulunan 8 ısıtıcıya verilen toplam ısı enerjisi miktarıdır.  $\dot{Q}_{\text{elek.k.h.}}$  her bir ısıtıcı için Eş. 3.11 ile hesaplanan ısı transferi değerlerinin toplanması ile bulunur.  $\dot{Q}_{\text{kond.izolasyon.k.h.}}$  ise bu ısıtıcılardan izopan yalıtıma olan ısı kayıplarının (Eş. 3.12) toplanması ile bulunmuştur.  $\dot{Q}_{\text{kond.yan.k.h.}}$  ise kanalın yan tarafındaki köpük izolasyonlardan olan ısı kaybıdır. Bu kaybın hesaplanabilmesi için de Eş. 3.17 kullanılmıştır.

$$\dot{Q}_{\text{kond.yan.k.h.}} = \frac{k_{\text{köpük}} A_{\text{k.h.}} (T_{\text{köpükiç}} - T_{\text{köpükdiş}})}{L_{\text{köpük}}} \quad (3.17)$$

Burada  $k_{\text{köpük}}$  köpük izolasyonun ısı iletim katsayısını,  $A_{\text{k.h.}}$  kontrol hacminde ısı transferinin gerçekleştiği alanı,  $L_{\text{köpük}}$  foamboard yalıtım kalınlığını,  $(T_{\text{köpükic}} - T_{\text{köpükdis}})$  ise kontrol hacmi bölgesindeki köpük yalıtımın iç ve dış sıcaklık farkını ifade etmektedir. Bu sıcaklık farkının belirlenebilmesi için köpük yalıtım üzerinden alınan sıcaklık ölçümleri kullanılmıştır. Ara değerler için köpük içerisinde doğrusal sıcaklık dağılımı olduğu (Şekil 3.8) kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 3.8. Köpük yalıtımdaki sıcaklık dağılımı

Bütün sıcaklık dağılımları ve buna bağlı olan ısı kayıpları belirlendikten sonra Eş.3.10 her bir ısıtıcı için ayrı ayrı uygulanarak ısıtıcılardan akışkana konveksiyon ile olan ısı transferi belirlenmiştir.

### 3.7. Hata Analizi

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen verilerin güvenilirliğinin ve hassasiyetinin belirlenmesi için hata analizinin yapılması gerekmektedir. Ölçülen değerlerin ve bu değerlere bağlı olarak hesaplanan büyüklükler için literatürde yer alan standart hesap yöntemleri kullanılmıştır [49-51].

Eğer “F” bir bağımlı değişken, x ve y iki bağımsız değişken ise,

$$F=f(x,y) \quad (3.18)$$

şeklinde yazılır. Burada x ve y bağımsız değişkenlerinin belirsizlikleri sırası ile  $w_x$  ve  $w_y$  olarak verilirse f'nin belirsizliği Eş.3.19 ile ifade edilebilir,



$$w_f = \left[ \left( \frac{\partial f}{\partial x} w_x \right) + \left( \frac{\partial f}{\partial y} w_y \right) + \dots \right]^{1/2} \quad (3.19)$$

Çalışmada en önemli bağımsız değişkenin konveksiyonla ısı transferini ifade eden Nusselt Sayısı (Nu) olması nedeni ile aşağıda Nu sayısı için yapılan hata analizi örnek verilmiştir. Eş.3.19 kullanılarak Nu sayısı için belirsizlik oranı,

$$w_{Nu} = \left[ \left( \frac{\partial Nu}{\partial \dot{q}_{konv.}} w_{\dot{q}_{konv.}} \right)^2 + \left( \frac{\partial Nu}{\partial D_H} w_{D_H} \right)^2 + \left( \frac{\partial Nu}{\partial k} w_k \right)^2 + \left( \frac{\partial Nu}{\partial (T_s - T_b)} w_{(T_s - T_b)} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.20)$$

şeklinde yazılır. Burada  $w_{\dot{q}_{konv.}}$  ısı akısının,  $w_{D_H}$  hidrolik çapın,  $w_k$  havanın ısı iletim katsayısının ve  $w_{(T_s - T_b)}$  sıcaklık farkının belirsizliklerini ifade etmektedir. Eş.3.20'deki ifadeler ayrıntılı olarak yazılacak olursa,

$$\frac{\partial Nu}{\partial \dot{q}_{konv.}} = \frac{D_H}{k(T_s - T_b)} \quad (3.21)$$

$$\frac{\partial Nu}{\partial D_H} = \frac{\dot{q}_{konv.}}{k(T_s - T_b)} \quad (3.22)$$

$$\frac{\partial Nu}{\partial k} = \frac{-\dot{q}_{konv.} D_H}{k^2 (T_s - T_b)} \quad (3.23)$$

$$\frac{\partial Nu}{\partial (T_s - T_b)} = \frac{-\dot{q}_{konv.} D_H}{k(T_s - T_b)^2} \quad (3.24)$$

eşitlikleri elde edilir. Eş. 3.21-3.24'deki denklemler Eş. 3.20'de yerine konulup düzenlenirse Nu sayısı için hata oranı,

$$\frac{W_{Nu}}{Nu} = \left[ \left( \frac{W_{q_{konv.}}}{q_{konv.}} \right)^2 + \left( \frac{W_{D_H}}{D_H} \right)^2 + \left( \frac{W_k}{k} \right)^2 + \left( \frac{W_{(T_s-T_b)}}{(T_s-T_b)} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.25)$$

olarak bulunur.

Yukarıda anlatılan yöntemle belirsizlik ve hata oranları bulunmuş olan tüm büyüklükler Çizelge 3.2 ile verilmiştir.

### 3.8. Deneysel Çalışma Programı

Yapılan deneysel çalışmada farklı Re ve Gr\* sayıları için ısıtıcıların bulunduğu bölgede, plakaların olmadığı ve  $L_p/H=3/20$  değeri için plakaların belirli bir açıda ( $\alpha=30^\circ$ ) yerleştirildiği durumda ısı transferi ve sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Farklı plaka yerleşim düzenleri ve açıları için ise deneysel çalışma sonuçları ile uyumlu bir matematiksel model oluşturularak sayısal çözümlene yapılmıştır. Ayrıca elde edilen veriler ile plakalı ve plakasız durumlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmanın gerçekleştirildiği parametreler Çizelge 3.3 ve 3.4'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Değişkenlerin belirsizlik ve hata oranları

| Büyüklik                           | Değeri                               | En Büyük Belirsizlik | En büyük Hata Oranı (%) |
|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|-------------------------|
| V                                  | 3-12volt                             | -                    | 0,5                     |
| R                                  | 70-80 $\Omega$                       | -                    | 0,5                     |
| A                                  | 6,25x10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> | -                    | 0,6                     |
| D <sub>H</sub>                     | 0,1333 m                             | -                    | 0,9                     |
| L                                  | 0,1-1,5m                             | -                    | 0,5                     |
| k <sub>izopan</sub>                | 0,03 W/mK                            | 0,001                | 1                       |
| k <sub>hava</sub>                  | 0,023-0,026 W/mK                     | 0,001                | 1                       |
| k <sub>köpük</sub>                 | 0,028 W/mK                           | 0,003                | 1                       |
| k <sub>teflon</sub>                | 0,25 W/mK                            | 0,025                | 1                       |
| $\epsilon$                         | 0,1                                  | 0,01                 | 1                       |
| w <sub>giriş</sub>                 | 0,1-0,24 m/s                         | -                    | 1                       |
| T <sub>s</sub> -T <sub>giriş</sub> | 10-55 °C                             | -                    | 3                       |
| $\dot{Q}_{rad.}$                   | 0,0026-0,04 W                        | -                    | 3                       |
| $\dot{Q}_{kond}$                   | 0,001-0,06W                          | -                    | 3                       |
| $\dot{Q}_{konv.}$                  | 0,02-0,1W                            | -                    | 3                       |
| Nu <sub>sıra ort.</sub>            | 14-80                                | -                    | 5                       |
| Gr*                                | 1x10 <sup>8</sup> -3x10 <sup>8</sup> | -                    | 3                       |
| Re                                 | 930-2000                             | -                    | 2                       |

Çizelge 3.3. Akış yönlendirici plaka kullanımı için deneysel çalışma programı

| Re   | Gr*             | Ri  | $\alpha$ | L <sub>p</sub> /H | H/W |
|------|-----------------|-----|----------|-------------------|-----|
| 2000 | $3 \times 10^8$ | 2   | 30°      | 3/20              | 1/2 |
| 2000 | $2 \times 10^8$ | 1,2 | 30°      | 3/20              | 1/2 |
| 2000 | $1 \times 10^8$ | 0,7 | 30°      | 3/20              | 1/2 |
| 1400 | $3 \times 10^8$ | 6,2 | 30°      | 3/20              | 1/2 |
| 930  | $3 \times 10^8$ | 13  | 30°      | 3/20              | 1/2 |

Çizelge 3.4. Plakasız durum için deneysel çalışma programı

| Re   | Gr*             | Ri   | H/W |
|------|-----------------|------|-----|
| 2000 | $3 \times 10^8$ | 1,9  | 1/2 |
| 2000 | $2 \times 10^8$ | 1,3  | 1/2 |
| 2000 | $1 \times 10^8$ | 0,76 | 1/2 |
| 1400 | $3 \times 10^8$ | 5,2  | 1/2 |
| 930  | $3 \times 10^8$ | 13,5 | 1/2 |

## 4. SAYISAL ÇALIŞMA

Akışkan hareketlerinin incelenmesinde kullanılan bir diğer yöntem sayısal çözümlerdir. Sayısal yöntem, ele alınan fiziksel bir problem için matematiksel denklemler oluşturulması ve bu denklemlerin problemin yapısına bağlı olarak çeşitli sayısal hesaplama metotları ile çözümlenmesi şeklindedir.

Matematiksel denklemlerin sayısal olarak çözülebilmesi için problemin ele alındığı bölgede sonlu sayıda noktalar belirlenerek bir ağ yapısı oluşturulur ve bu noktalardaki diferansiyel denklemler cebirsel denklemlere dönüştürülerek çözüme geçilir. Bu tez çalışmasında da sayısal çözümlere yapılabilmesi için sonlu hacimler yöntemi kullanılmıştır.

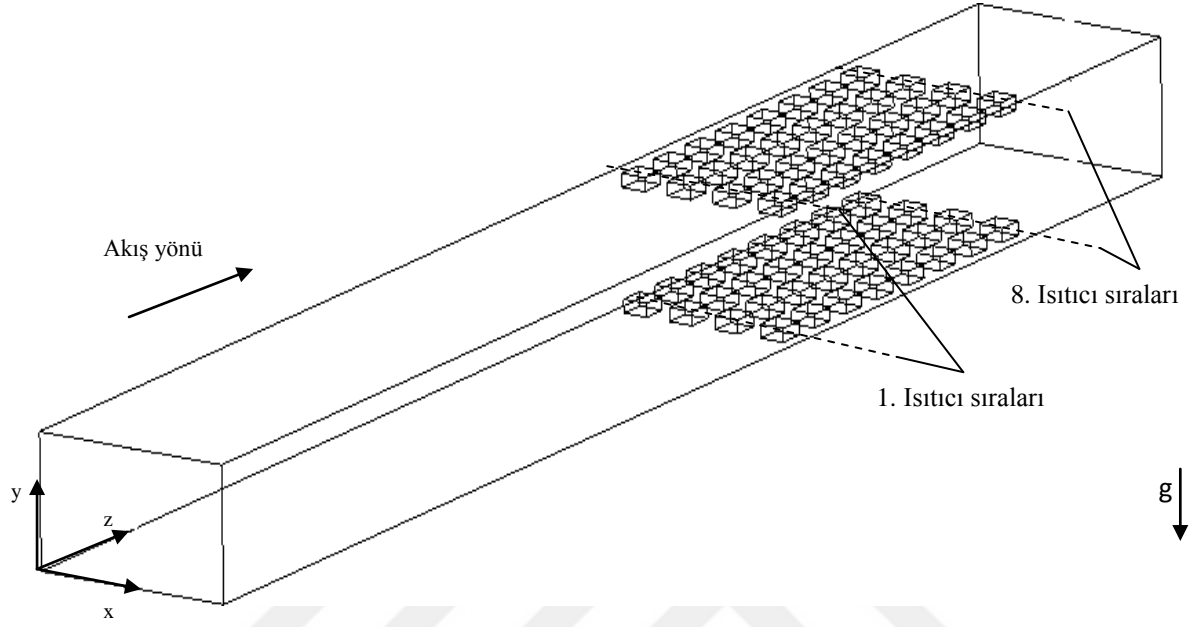
Bu çalışmada sayısal olarak iki ayrı problem ele alınmıştır. Birinci problemde ısıtıcıların kanal alt ve üst yüzeylerinde bulunması koşulu için plakasız ve plakalı durumlarda sayısal çalışma gerçekleştirilmiştir. İkinci problemde ise ısıtıcı blokların kanal yan yüzeylerinde bulunması durumu için plakasız ve farklı plaka yerleşim durumlarında oluşan ısı transferi ve sıcaklık dağılımları incelenmiştir.

### 4.1. Isıtıcıların Kanal Alt ve Üst Yüzeylerinde Bulunması Durumunda Akış Yönlendirici Plaka Kullanımı

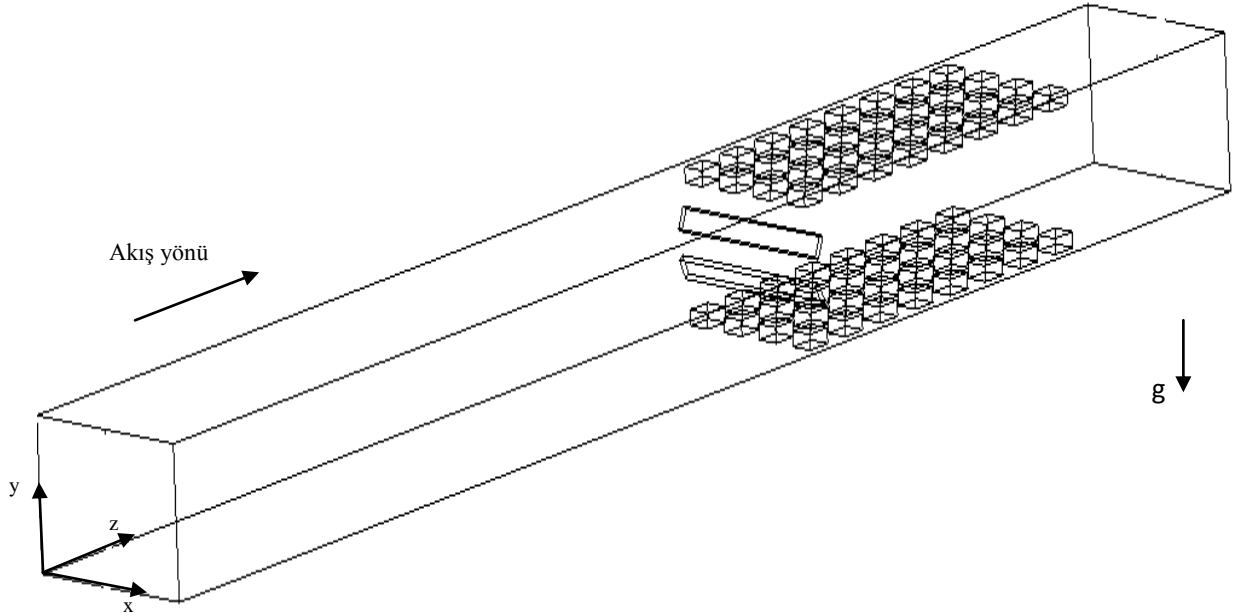
Çalışmada ilk olarak ele alınan fiziksel problem, Şekil 4.1' ve 4.2'de görüldüğü gibi yatay konumda bulunan üç boyutlu bir kanal içerisine akış yönlendirici plaka yerleşiminin yapıldığı ve yapılmadığı durumların çıkıntılı ısı kaynaklarından olan ısı transferine etkisini içermektedir. Şekil 4.1'de plakasız, Şekil 4.2'de ise plaka yerleşiminin yapıldığı durumdaki kanal geometrileri verilmektedir. Bu doğrultuda bir matematiksel model oluşturularak sayısal çözümlere gerçekleştirilmiş ve elde edilen sayısal sonuçlar, doğruluğunun belirlenebilmesi için deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Isıtıcıların kanal alt ve üst yüzeylerinde bulunması durumunda akış yönlendirici plaka kullanımı problem için elde edilen sayısal bulgulara bakılarak, ısıtıcıların kanal yan

yüzeylerinde bulunması durumunda akış yönlendirici plaka kullanımının ısı transferine etkisinin de analiz edilmesine karar verilmiştir.



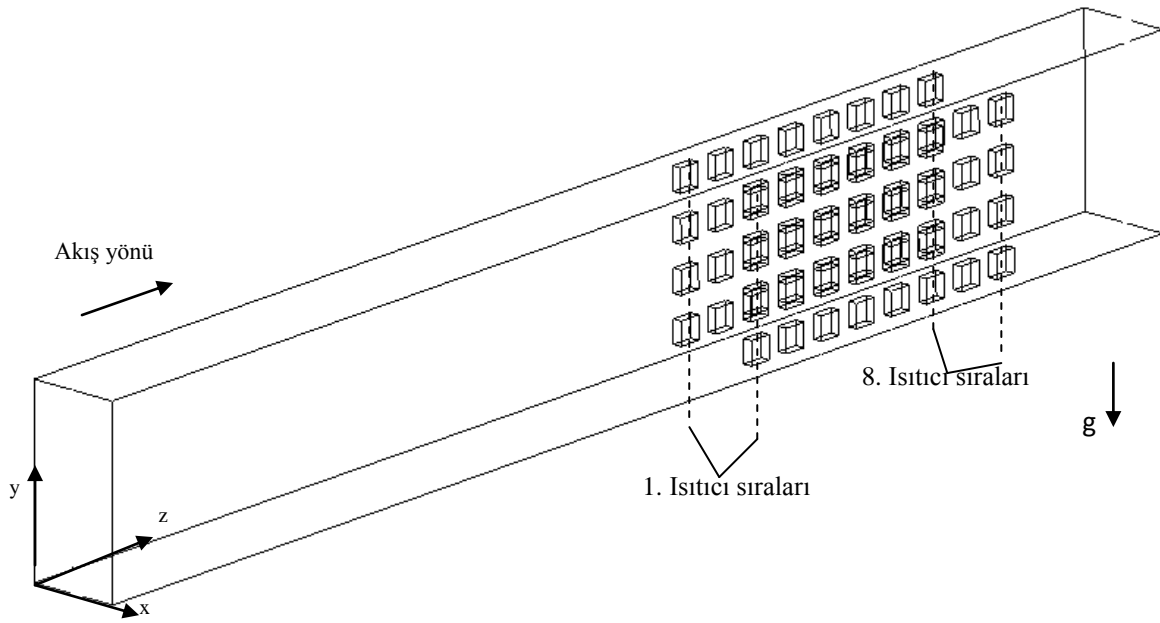
Şekil 4.1. Plakasız durum (ısıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde)



Şekil 4.2. Plakalı durum (ısıtıcılar kanal alt ve üst yüzeyinde)

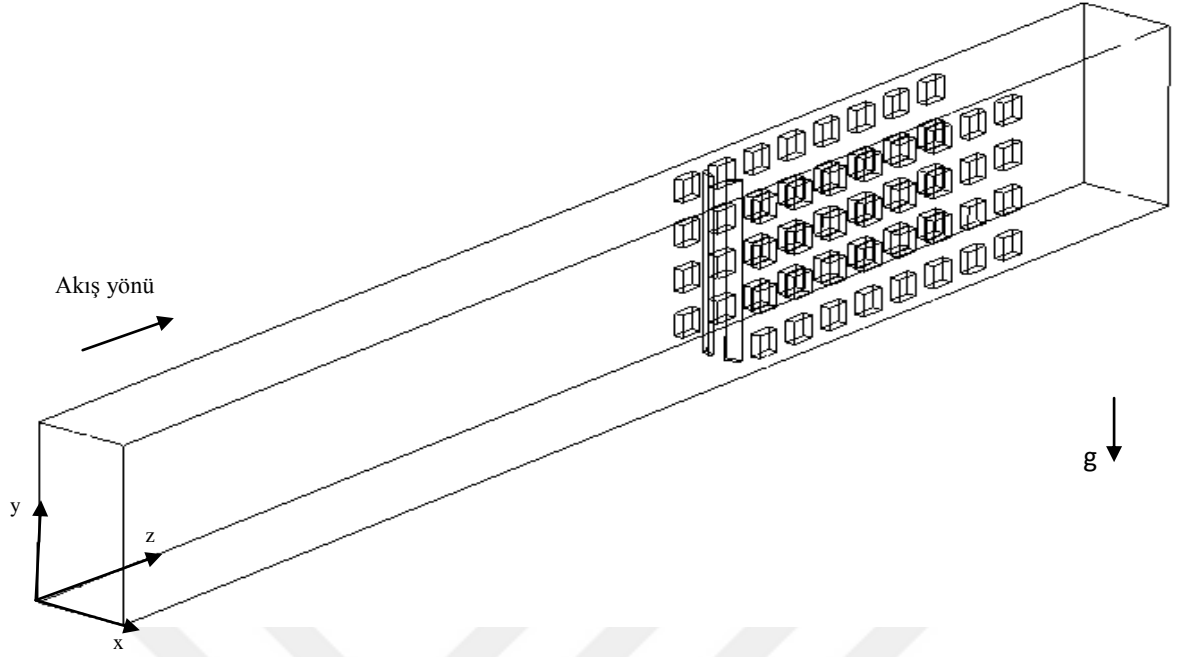
## 4.2. Isıtıcıların Kanal Yan Yüzeylerinde Bulunması Durumunda Akış Yönlendirici Plaka Kullanımı

Çalışmada ele alınan ikinci problemde ise ısıtıcıların kanal yan yüzeylerinde bulunması durumunda akış yönlendirici plaka kullanımının ısı transferine etkileri sayısal olarak analiz edilmiştir. Bu problem için plaka yerleşiminin yapılmadığı durumdaki kanal geometrisi Şekil 4.3’de görülmektedir.

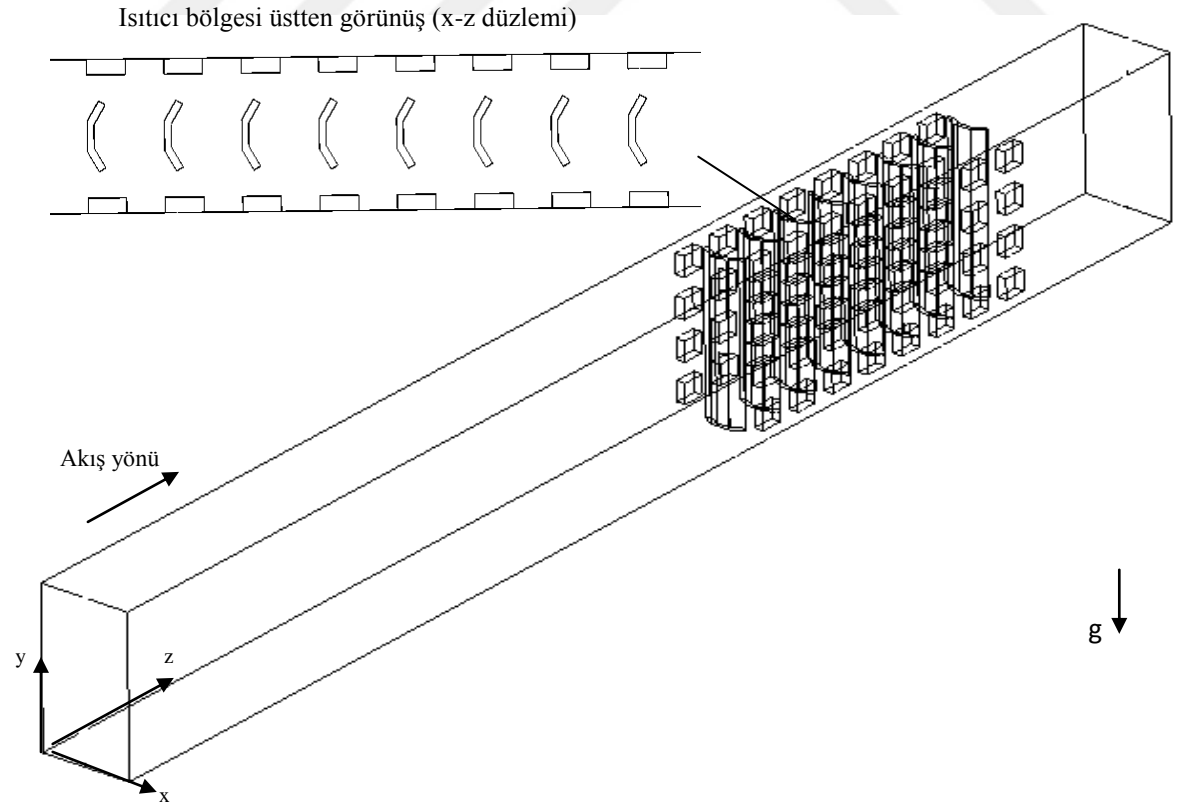


Şekil 4.3. Plakasız durum (ısıtıcılar kanal yan yüzeylerinde)

Kanal içerisine akış yönlendirici plaka yerleşimi koşulunda ise iki ayrı durum incelenmiştir. Birinci durumda akış yönlendirici plakalar daha önceki problemde olduğu gibi ısıtıcı bölgesi girişine yerleştirilmiştir (Şekil 4.4). İkinci durumda ise her bir ısıtıcı sırası hizasına plaka yerleşimi yapılmış ve plakalar arası boşluklar kapatılmıştır (Şekil 4.5). Akış yönlendirici plaka kullanımına ait iki durum için oluşturulan kanal geometrileri Şekil 4.4 ve 4.5’de verildiği gibidir.



Şekil 4.4. Isıtıcı bölgesi girişinde plaka kullanılması durumu (ısıtıcılar kanal yan yüzeylerinde)



Şekil 4.5. Periyodik plaka yerleşimi durumu (ısıtıcılar kanal yan yüzeylerinde)



### 4.3. Matematiksel Model

Çalışmada ele alınan problemler doğrultusunda soğutucu akışkan olarak hava kullanılmış olup laminer akış koşulu için aşağıda verilen kabuller doğrultusunda çözümler yapılmıştır. Ayrıca kaldırma kuvvetinin etkisinin belirlenebilmesi için Boussinesq yaklaşımı kullanılmıştır.

*Kabuller:*

- Akışkan Newtonian
- Akışkan sıkıştırılmaz
- Akışkan taşınım özellikleri sabit
- Akış sürekli rejim şartlarında
- Laminer akış şartları
- Kütle kuvveti etkisi y ekseninde doğrultusunda (Boussinesq yaklaşımı)

### 4.4. Temel Korunum Denklemleri ve Sınır Şartları

Çalışmada akışın hız bileşenlerinin ( $u, v, w$ ), basınç ( $P$ ) ve sıcaklık ( $T$ ) değerlerinin bulunabilmesi için temel korunum denklemleri kullanılmaktadır.

Korunum Denklemleri

*Kütlenin Korunumu;*

Laminer sürekli akış şartlarında üç boyutlu kartezyen koordinatlar için kütle korunumu Eş. 4.1'de gösterildiği şekilde yazılabilir:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (4.1)$$

*Momentumun Korunumu;*

Momentum denklemleri ise  $x, y$  ve  $z$  yönlerinde aşağıda verilen denklemlerle ifade edilmektedir:

*x-yönündeki momentumun korunumu;*

$$u \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + v \frac{\partial(\rho u)}{\partial y} + w \frac{\partial(\rho u)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (4.2)$$

*y-yönündeki momentumun korunumu;*

$$u \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} + v \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + w \frac{\partial(\rho v)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + \rho g \beta (T - T_{\text{giris}}) \quad (4.3)$$

*z-yönündeki momentumun korunumu;*

$$u \frac{\partial(\rho w)}{\partial x} + v \frac{\partial(\rho w)}{\partial y} + w \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4.4)$$

Yukarıda verilen diferansiyel denklemlerde u, v ve w sırası ile x, y ve z yönündeki hız bileşenlerini, P basıncı,  $\mu$  akışkanın dinamik viskozitesini,  $\rho$  akışkan yoğunluğunu, g yerçekimi ivmesini,  $\beta$  akışkanın kanala giriş sıcaklığındaki termal genleşme katsayısını, T akışkan sıcaklığını ve  $T_{\text{giris}}$  akışkanın kanala giriş sıcaklığını ifade etmektedir. Eş. 4.3'de denklemin sağ tarafındaki son ifade ise kütle kuvvetlerinin etkisini (Boussinesq yaklaşımı) belirlemek amacı ile kullanılmaktadır.

*Enerjinin Korunumu;*

Enerjinin korunumu denklemi ise aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$u \frac{\partial(\rho T)}{\partial x} + v \frac{\partial(\rho T)}{\partial y} + w \frac{\partial(\rho T)}{\partial z} = \frac{k}{c_p} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (4.5)$$

Burada  $c_p$  akışkanın özgül ısısı, k ise akışkanın ısı iletim katsayısıdır.

*Sınır Şartları;*

Korunum denklemlerini ifade eden diferansiyel denklemlerin çözülebilmesi için sınır şartlarının belirlenmesi gerekmektedir. Ele alınan problem için sınır şartları aşağıdaki şekildedir;

*Kanal girişinde;*

$$u = 0; \quad v = 0; \quad w = w_{\text{giriş}}; \quad T = T_{\text{giriş}}; \quad P = P_{\text{atm}} \quad (4.6)$$

*Kanal çıkışında;*

$$\frac{\partial u}{\partial z} = 0; \quad \frac{\partial v}{\partial z} = 0; \quad \frac{\partial w}{\partial z} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad (4.7)$$

Kanal içerisindeki akış x yönünde kanal ortasından geçen eksene göre simetriktir. Böylece kanal alt yüzeyi simetri ekseninde sınır şartları aşağıdaki şekilde olmaktadır;

$$u=0; \quad \frac{\partial v}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial w}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad \frac{\partial P}{\partial x} = 0 \quad (4.8)$$

Kanalın alt, üst ve yan yüzeylerinde, plaka ve ısı kaynakları üzerinde kaymama koşulu tanımlanmış ve bu yüzeyler yalıtılarak ısı kaynakları haricindeki yüzeylerde ısı akısı ( $\dot{q}$ ) sıfır olarak belirlenmiştir;

$$u = 0; \quad v = 0; \quad w = 0; \quad \dot{q} = 0 \quad (4.9)$$

Isıtıcı yüzeyler üzerinde belirlenen sınır şartı ise Eş. 4.10'da verildiği gibidir;

$$\dot{q} = \dot{q}_{\text{konv.}} \quad (4.10)$$

#### 4.5. Boyut Analizi

Yapılacak çalışmanın literatürdeki mevcut çalışmalarla karşılaştırılabilmesi ve de değişken sayısının azaltılabilmesi için fiziksel büyüklüklerin boyutsuz hale getirilmesi gerekmektedir. Bu işlem için gerekli boyutsuzlaştırma parametreleri aşağıdaki şekildedir:

$$X^* = \frac{x}{D_H} \quad Y^* = \frac{y}{D_H} \quad Z^* = \frac{z}{D_H} \quad (4.11)$$

$$U^* = \frac{u}{w_{\text{giriş}}} \quad V^* = \frac{v}{w_{\text{giriş}}} \quad W^* = \frac{w}{w_{\text{giriş}}} \quad (4.12)$$

$$T^* = \frac{T - T_{\text{giriş}}}{q_{\text{konv}} (D_H / k)} \quad P^* = \frac{P - P_{\text{atm}}}{\rho w_{\text{giriş}}^2} \quad (4.13)$$

Boyutsuzlaştırma parametreleri kullanılarak oluşturulan temel korunum denklemleri ise aşağıdaki bağıntılarla verilmektedir.

##### 4.5.1. Boyutsuz kütle korunumu denklemi

Laminer akış şartlarına bağlı olarak boyutsuz kütle korunumu denklemi,

$$\frac{\partial U^*}{\partial X^*} + \frac{\partial V^*}{\partial Y^*} + \frac{\partial W^*}{\partial Z^*} = 0 \quad (4.14)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

##### 4.5.2. Boyutsuz momentum korunumu denklemleri

Boyutsuz parametreler kullanılarak x, y ve z yönlerindeki momentumun korunumu denklemleri ise aşağıda verildiği gibidir:

### x-yönündeki Momentumun Korunumu Denklemi

$$U^* \frac{\partial U^*}{\partial X^*} + V^* \frac{\partial U^*}{\partial Y^*} + W^* \frac{\partial U^*}{\partial Z^*} = -\frac{\partial P^*}{\partial X^*} + \frac{1}{Re} \left( \frac{\partial^2 U^*}{\partial X^{*2}} + \frac{\partial^2 U^*}{\partial Y^{*2}} + \frac{\partial^2 U^*}{\partial Z^{*2}} \right) \quad (4.15)$$

### y-yönündeki Momentumun Korunumu Denklemi

$$U^* \frac{\partial V^*}{\partial X^*} + V^* \frac{\partial V^*}{\partial Y^*} + W^* \frac{\partial V^*}{\partial Z^*} = -\frac{\partial P^*}{\partial Y^*} + \frac{1}{Re} \left( \frac{\partial^2 V^*}{\partial X^{*2}} + \frac{\partial^2 V^*}{\partial Y^{*2}} + \frac{\partial^2 V^*}{\partial Z^{*2}} \right) + \frac{Gr^*}{Re^2} T^* \quad (4.16)$$

### z-yönündeki Momentumun Korunumu Denklemi

$$U^* \frac{\partial W^*}{\partial X^*} + V^* \frac{\partial W^*}{\partial Y^*} + W^* \frac{\partial W^*}{\partial Z^*} = -\frac{\partial P^*}{\partial Z^*} + \frac{1}{Re} \left( \frac{\partial^2 W^*}{\partial X^{*2}} + \frac{\partial^2 W^*}{\partial Y^{*2}} + \frac{\partial^2 W^*}{\partial Z^{*2}} \right) \quad (4.17)$$

### **4.5.3. Boyutsuz enerjinin korunumu denklemi**

Üç boyutlu kartezyen koordinatlarda ve boyutsuz parametrelere bağlı olarak enerji denklemi;

$$U^* \frac{\partial T^*}{\partial X^*} + V^* \frac{\partial T^*}{\partial Y^*} + W^* \frac{\partial T^*}{\partial Z^*} = \frac{1}{RePr} \left( \frac{\partial^2 T^*}{\partial X^{*2}} + \frac{\partial^2 T^*}{\partial Y^{*2}} + \frac{\partial^2 T^*}{\partial Z^{*2}} \right) \quad (4.18)$$

olarak yazılabilir.

Yukarıda verilen boyutsuz korunum denklemlerinden anlaşıldığı gibi probleme etkileyen boyutsuz parametreler Re, Gr\* ve Pr sayılarıdır. Yapılan çalışmada da bu boyutsuz parametrelerin Nu sayısı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

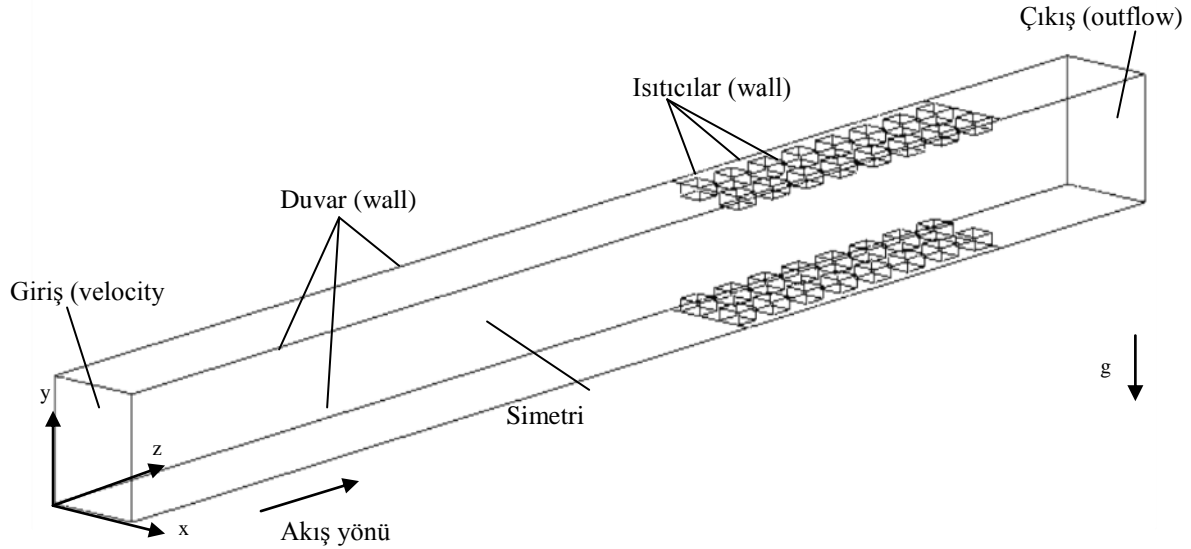
### **4.6. Sayısal Çözümleme**

Çalışmada sayısal çözümleme yapılabilmesi için sonlu hacimler yöntemi kullanılmıştır. Sonlu hacimler yönteminde ele alınan hacim belirli sayıda hücreye bölünmüş daha sonra problem çözümü için yazılan diferansiyel denklemler bu kontrol hacimleri için integre

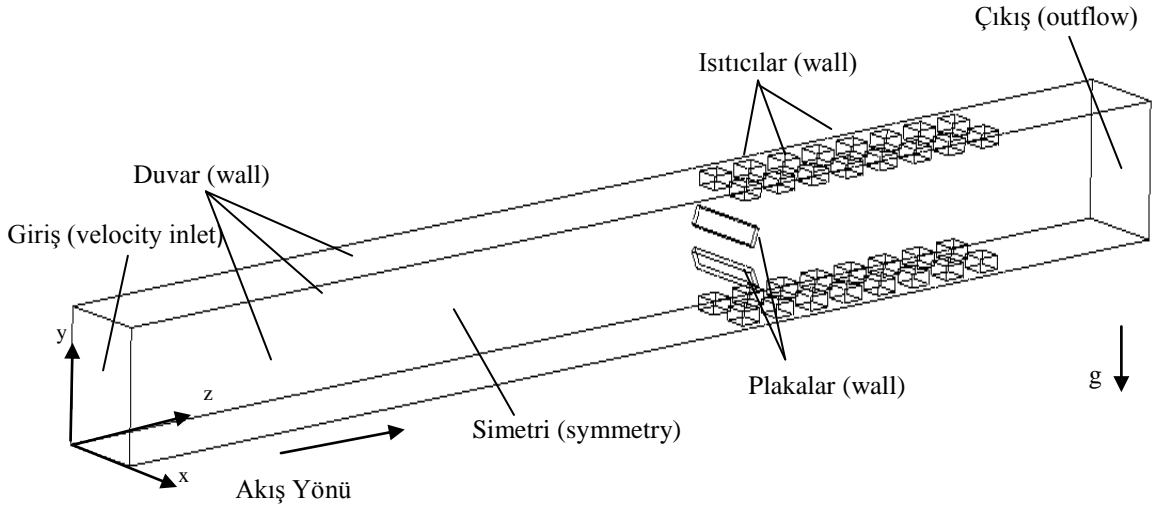
edilerek cebirsel denklemler oluşturulup uygun bir sayısal metotla çözülmüştür. Sayısal çalışmada ele alınan her iki problem için geometrilerin oluşturulması ve sayısal çözümlerinin yapılması ANSYS Fluent programı ile gerçekleştirilmiştir [52]. İki farklı problem için uygulanan sayısal çözümler işlemi aşağıda anlatılmaktadır.

#### 4.6.1. Isıtıcıların kanal alt ve üst yüzeylerinde bulunması durumu için sayısal çözümler

Isıtıcıların kanal alt ve üst yüzeylerinde bulunması durumu için kanal modeli deney düzeneğinin boyutlarında Şekil 3.2'deki ölçüler esas alınarak oluşturulmuştur. Kanal içerisindeki akışın x eksenine yönünde kanalın orta noktasına göre simetrik olması nedeni ile Şekil 4.1 ve 4.2'de verilmiş olan geometrilerin yarısı modellenmiştir (Şekil 4.6 ve 4.7). Alt ve üst yüzeylerde bulunan her bir ısıtıcı sırası ikişer ısıtıcı bloktan meydana gelmektedir. Şekil 4.6'da plaka yerleşiminin yapılmadığı durum için sayısal çözümlerde kullanılan geometri ve sınır şartları görülmektedir. Şekil 4.7'de ise akış yönlendirici plaka kullanılması durumundaki kanal geometrisi ve sınır şartları verilmiştir.



Şekil 4.6. Plakasız durumda sayısal çözümler için kanal geometrisi ve sınır şartları (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde)



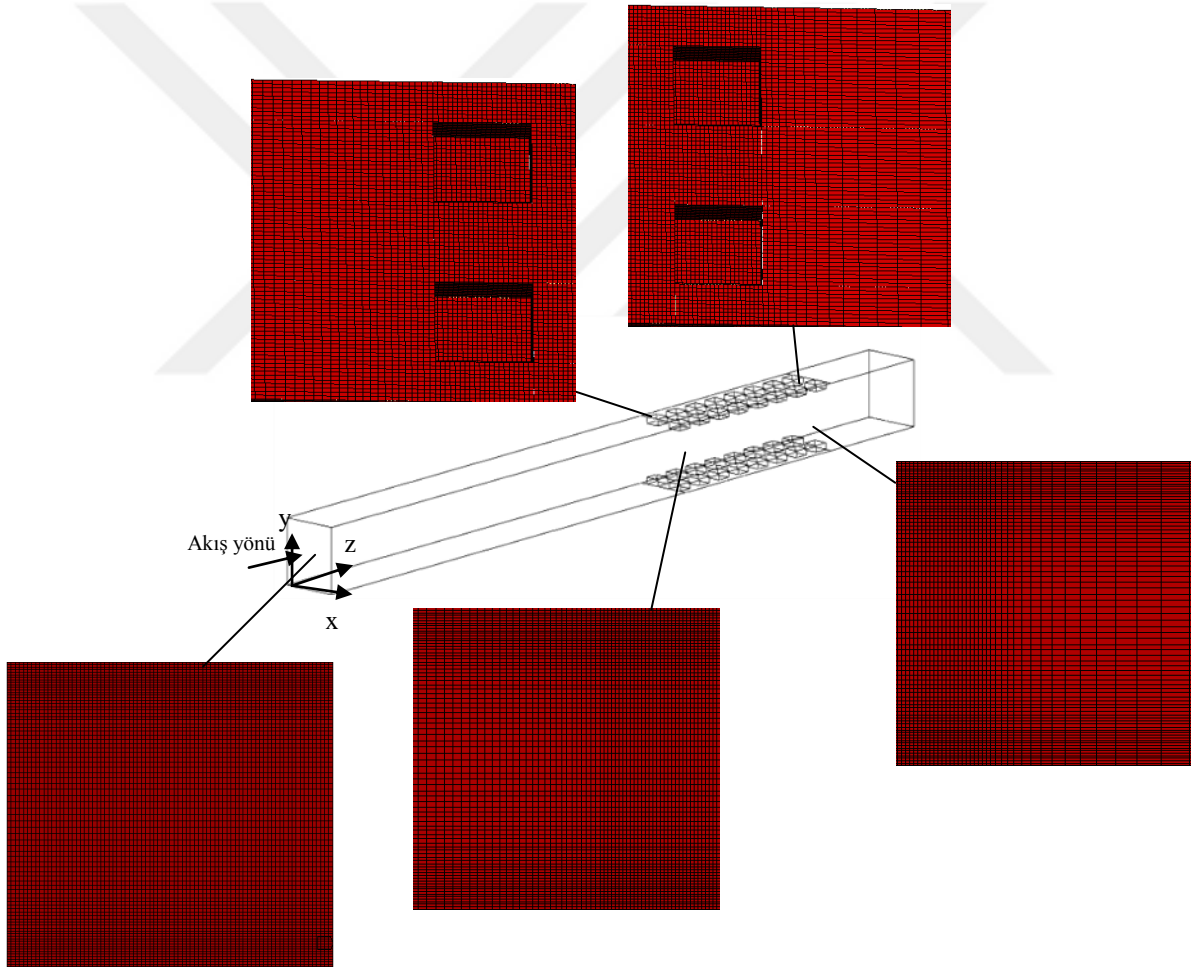
Şekil 4.7. Plakalı durumda sayısal çözümleme için kanal geometrisi ve sınır şartları (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde)

Şekil 4.6 ve 4.7’de görüldüğü gibi Fluent/Boundary Conditions menüsü ile kanal yan, alt/üst yüzeyleri ve plakalar ısı akısını sıfır alarak yalıtılmış duvar sınır şartı (wall), ısıtıcılar ise sabit bir ısı akısı değerine sahip duvar sınır şartı (wall) olarak seçilmiştir. Isıtıcı yüzeylerine uygulanan ısı akısı değerleri deneysel hesaplamalar sonucu her bir ısıtıcı için elde edilen konveksiyon ile ısı akısı değerleridir. Ayrıca alüminyum ısıtıcı bloklar içerisinde ısı iletimi gerçekleştiği kabul edilmiştir (Shell Conduction). Havanın kanala sabit ve üniform bir hızla girdiği kabul edilerek hız giriş sınır şartı (velocity inlet) kullanılmıştır. Çıkış bölgesinde ise basınç hariç tüm değişkenlerin sınıra dik yöndeki değişimlerinin sıfır kabul edildiği çıkış sınır şartı (outflow) kullanılmıştır. Diğer yandan x eksenine doğrultusunda kanal ortasından geçen düzleme, x eksenine yönündeki hız bileşeni hariç diğer tüm bileşenlerin x eksenine göre değişiminin sıfır kabul edildiği simetri (symmetry) sınır şartı uygulanmıştır.

Model üzerinde kaba hücre yapısından başlayarak çeşitli hücre yapıları oluşturulmuş ve deneysel sonuçlarla uyumlu olan en uygun hücre yapısı elde edilmiştir. Plakasız durum için x, y ve z eksenleri boyunca sırası ile 80x80x430 nokta, plaka açısının 30° olduğu durumda ise 64x80x377 nokta içeren hücre yapıları deneysel sonuçlarla uyum sağlamıştır. Kanal içerisinde plakanın bulunduğu ve bulunmadığı durumlar için oluşturulan hücre yapılarında kanal yüzeyleri ile ısıtıcıların ve plakaların bulunduğu bölgelerde hücre sayıları artırılmıştır. Diğer yandan x eksenine doğrultusundaki hücreler eşit büyüklükte iken y eksenine doğrultusundaki hücre boyutları ısıtıcı, kanal ve plaka yüzeylerine doğru küçültülmüştür. Z

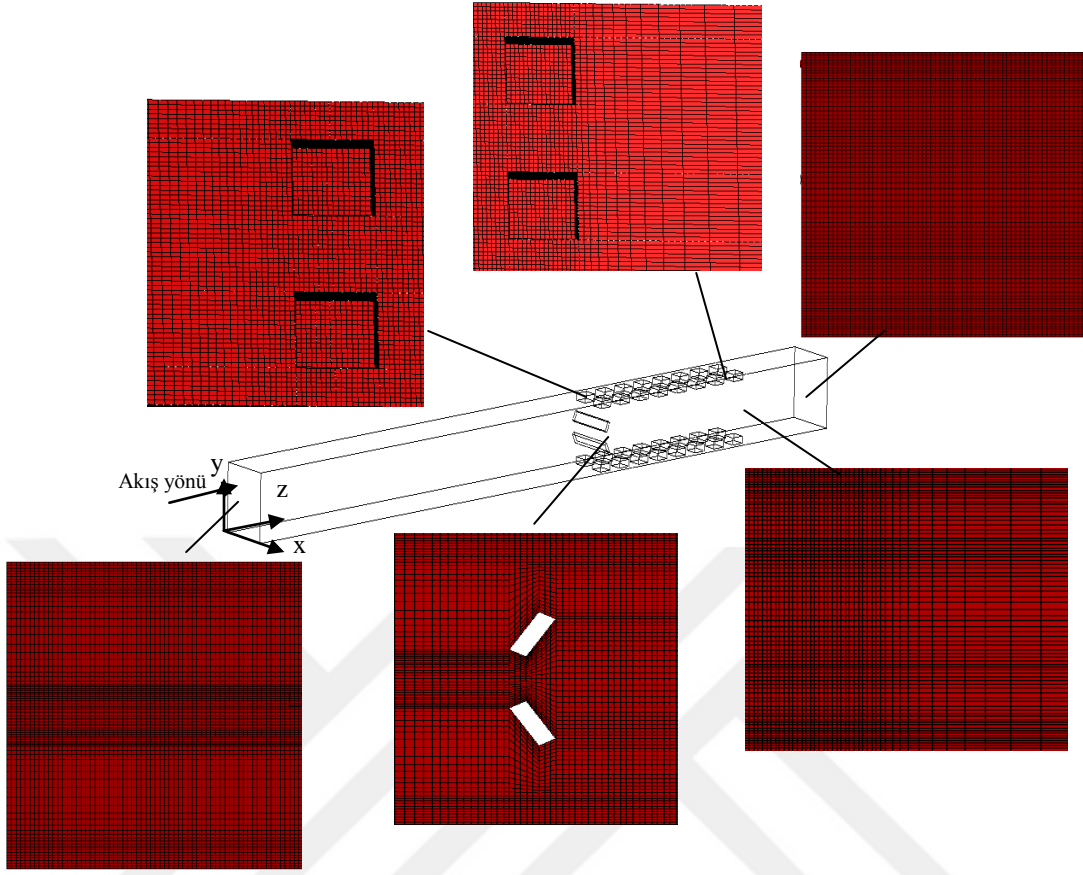
ekseni doğrultusunda ise ısıtıcıların bulunduğu bölgeye doğru hücre yapıları küçültülerek düzenlenmiştir. Plakasız ve plakalı durumlar için oluşturulan hücre dağılımı ve yapıları sırası ile Şekil 4.8 ve 4.9’da gösterildiği gibidir.

Fluent/Define/Materials menüsü ile kanal içerisinde geçen hava sıcaklığı deneysel ölçümlerle belirlenmiş ve taşınım özellikleri bu sıcaklığa göre seçilmiştir. Doğal konveksiyonun hesaplamalara dahil edilebilmesi için Fluent/Define/Operating Conditions menüsü ile Boussinesq yaklaşımı kullanılmış ve yerçekimi ivmesi  $-y$  yönünde alınmıştır.



Şekil 4.8. Plakasız geometri için hücre yapısı ve dağılımı (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde)



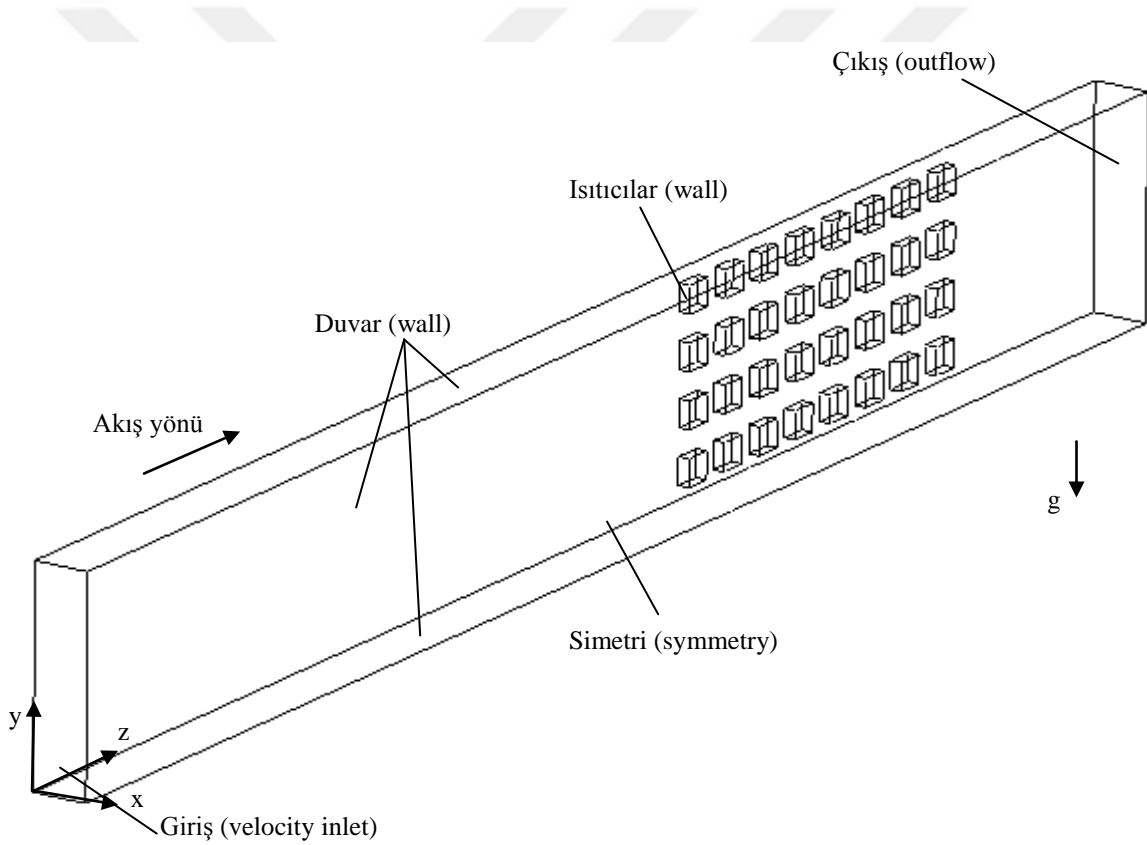


Şekil 4.9. Plakalı geometri için hücre yapısı ve dağılımı (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde)

Fluent/Define/Solution menüsü ile Eş. 4.1-4.5 numaralı temel korunum denklemlerinin ayrıklaştırılması ve çözülmesi için plakasız durumda SIMPLE, plakalı durumda ise Pseudo Transient seçeneği ile birlikte Coupled algoritması kullanılmıştır. Pseudo transient seçeneği laminar akış koşulları için çalkantılı akışlarda yakınsamayı kolaylaştırması sebebi ile tercih edilmiştir. Ayrıklaştırma işlemi sonucunda elde edilen cebirsel denklemlerdeki ara nokta değerlerinin bulunması için Fluent/Define/Solution/Solution Methods menüsündeki basınç düzeltmesi için Standart metodu, momentum ve enerji denklemleri için UPWIND metodu seçilmiştir. Fluent/Define/Solution/Solution Controls menüsü ile de uygun rahatlatma parametreleri (Relaxation Factors) belirlenerek çözülemeye başlanmıştır. Çözümler kalıntı değerlerinin (Residuals) kütle ve momentumun korunmu için  $1 \times 10^{-6}$ 'dan, enerji denklemleri için ise  $1 \times 10^{-10}$ 'den küçük olduğu duruma kadar devam etmiştir.

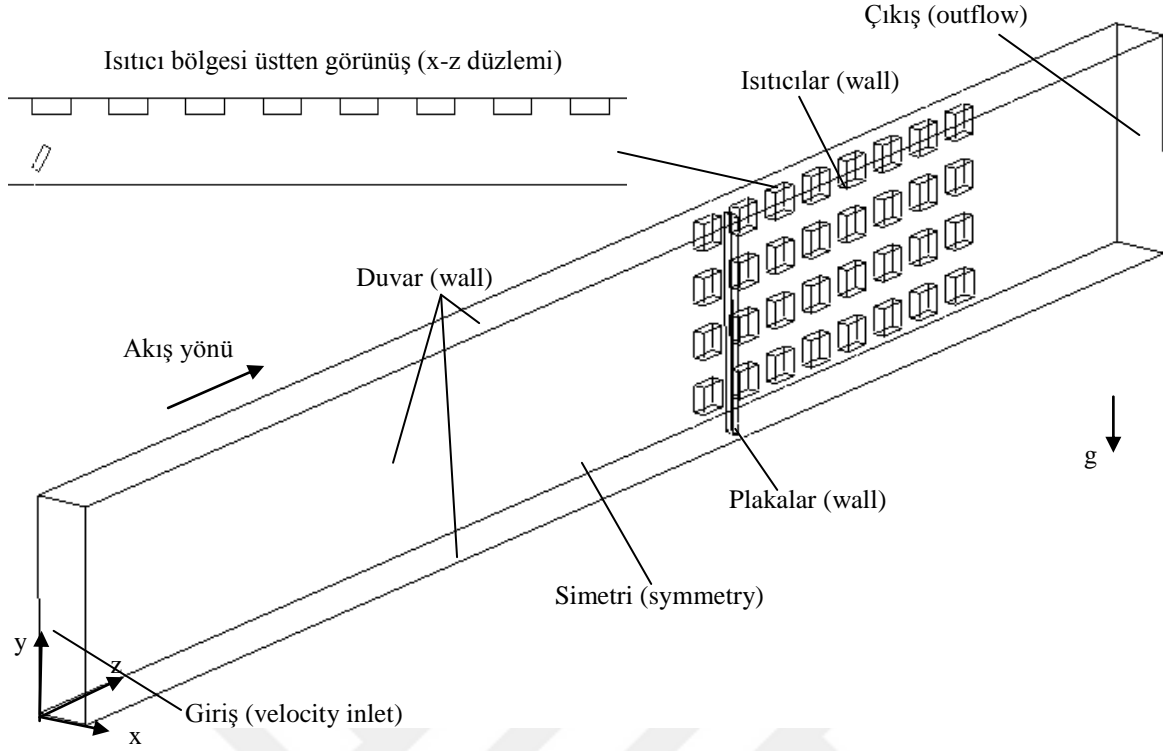
#### 4.6.2. Isıtıcıların kanal yan yüzeylerinde bulunması durumu için sayısal çözümleme

Isıtıcıların kanal yan yüzeylerinde bulunması durumunda da akışın x eksenine yönünde kanalın orta noktasına göre simetrik olması nedeni ile sayısal çözümleme için Şekil 4.3-4.5’de verilmiş olan kanal geometrilerinin yarısı modellenmiştir (Şekil 4.10- 4.12). Yan yüzeylerde bulunan her bir ısıtıcı sırası dörder ısıtıcı bloktan meydana gelmektedir. Şekil 4.10’da plaka yerleşiminin yapılmadığı durum için sayısal çözümlemeye kullanılan geometri ve sınır şartları görülmektedir. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi ve periyodik plaka yerleşimi durumları için oluşturulan kanal geometrileri ve sınır şartları ise sırası ile Şekil 4.11 ve 4.12’de verilmiştir.

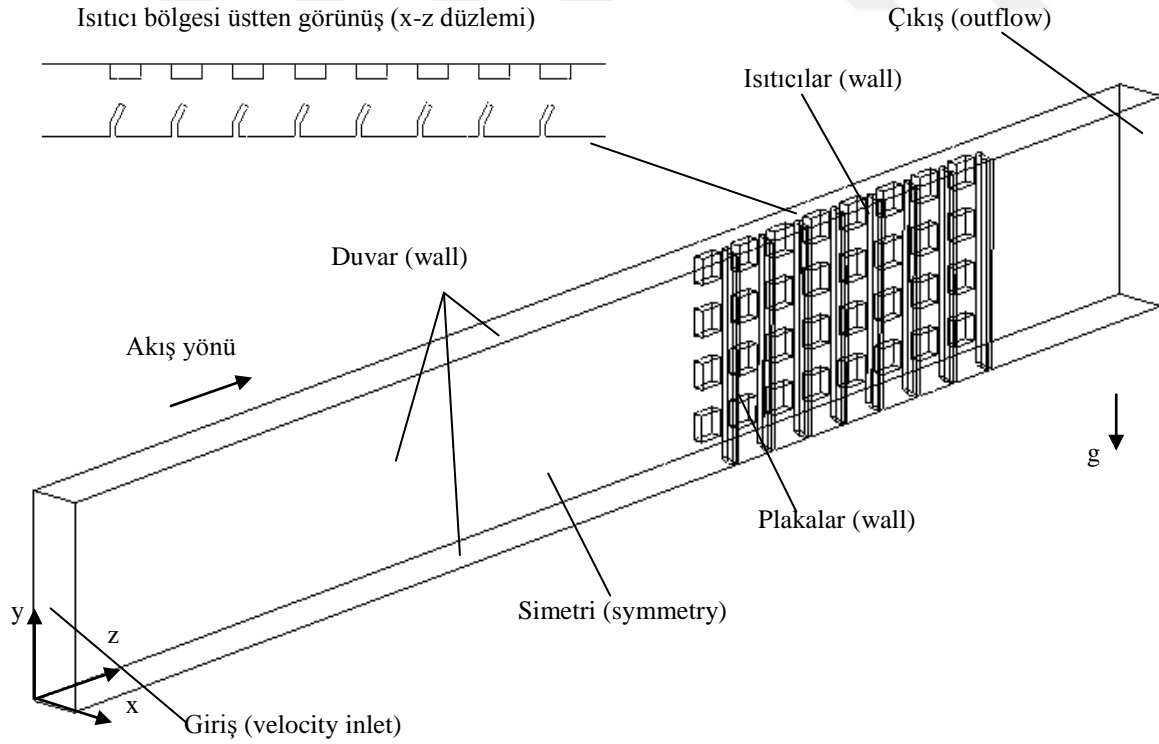


Şekil 4.10. Plakasız geometri için kanal geometrisi ve sınır şartları (ısıtıcılar kanal yan yüzeylerinde)

Şekil 4.10-4.12’den de anlaşıldığı gibi değiştirilmiş kanal ve plaka düzenleri için sınır şartları ısıtıcı blokların kanal alt ve üst yüzeyinde bulunduğu durumdaki sınır şartları ile aynıdır.

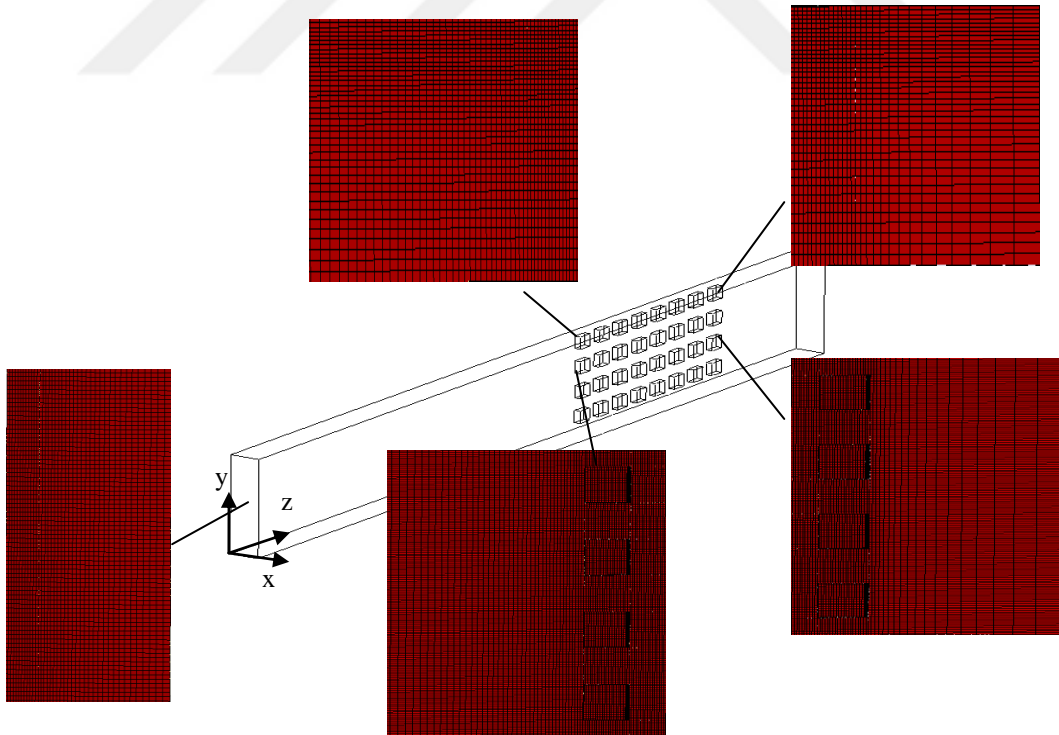


Şekil 4.11. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleştirilmesi durumu için kanal geometrisi ve sınır şartları (ısıtıcılar kanal yan yüzeylerinde)

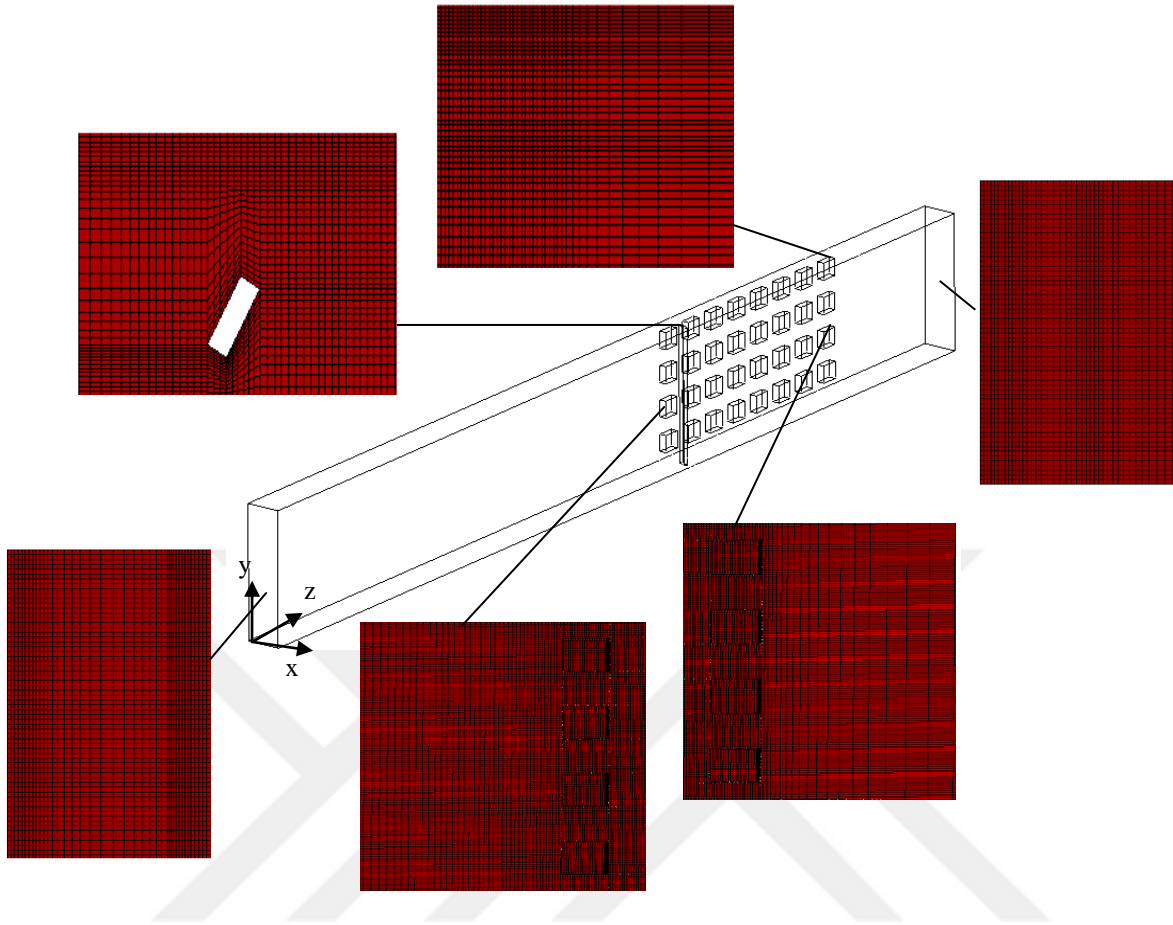


Şekil 4.12. Periyodik plaka yerleşimi durumu için kanal geometrisi ve sınır şartları (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde)

Yeni kanal yerleşim düzeninde, birinci problemde ele alınan kanal geometrisinden farklı olarak ısıtıcılar y eksenine doğrultusunda olacak şekilde düzenlenmiştir. Bu nedenle hücre dağılımı ve yapısı plakasız durum için x, y ve z eksenleri boyunca sırası ile 40x160x430 nokta, ısıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi ve periyodik plaka yerleşimi durumlarında ise 40x128x377 nokta içermektedir. Kanal içerisinde plakanın bulunduğu ve bulunmadığı durumlar için oluşturulan hücre yapılarında ısıtıcıların ve plakaların bulunduğu bölgede hücre sayıları artırılmıştır. Isıtıcıların kanal alt ve üst yüzeyinde bulunması durumuna zıt olarak ısıtıcıların düşey eksende yerleştirilmesi nedeni ile y eksenine doğrultusundaki hücreler eşit büyüklükte iken x eksenine doğrultusundaki hücre boyutları ısıtıcı, kanal ve plaka yüzeylerine doğru küçültülmüştür. Z eksenine doğrultusunda ise birinci problemde olduğu gibi ısıtıcıların bulunduğu bölgeye doğru hücre yapıları küçültülerek düzenlenmiştir. Plakasız durum, ısıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi ve periyodik plaka yerleşimi için kanal yüzeylerinde oluşturulan hücre dağılımı ve yapıları Şekil 4.13-4.15’de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.13. Plakasız geometri için hücre yapısı ve dağılımı (Isıtıcılar yan yüzeylerde)

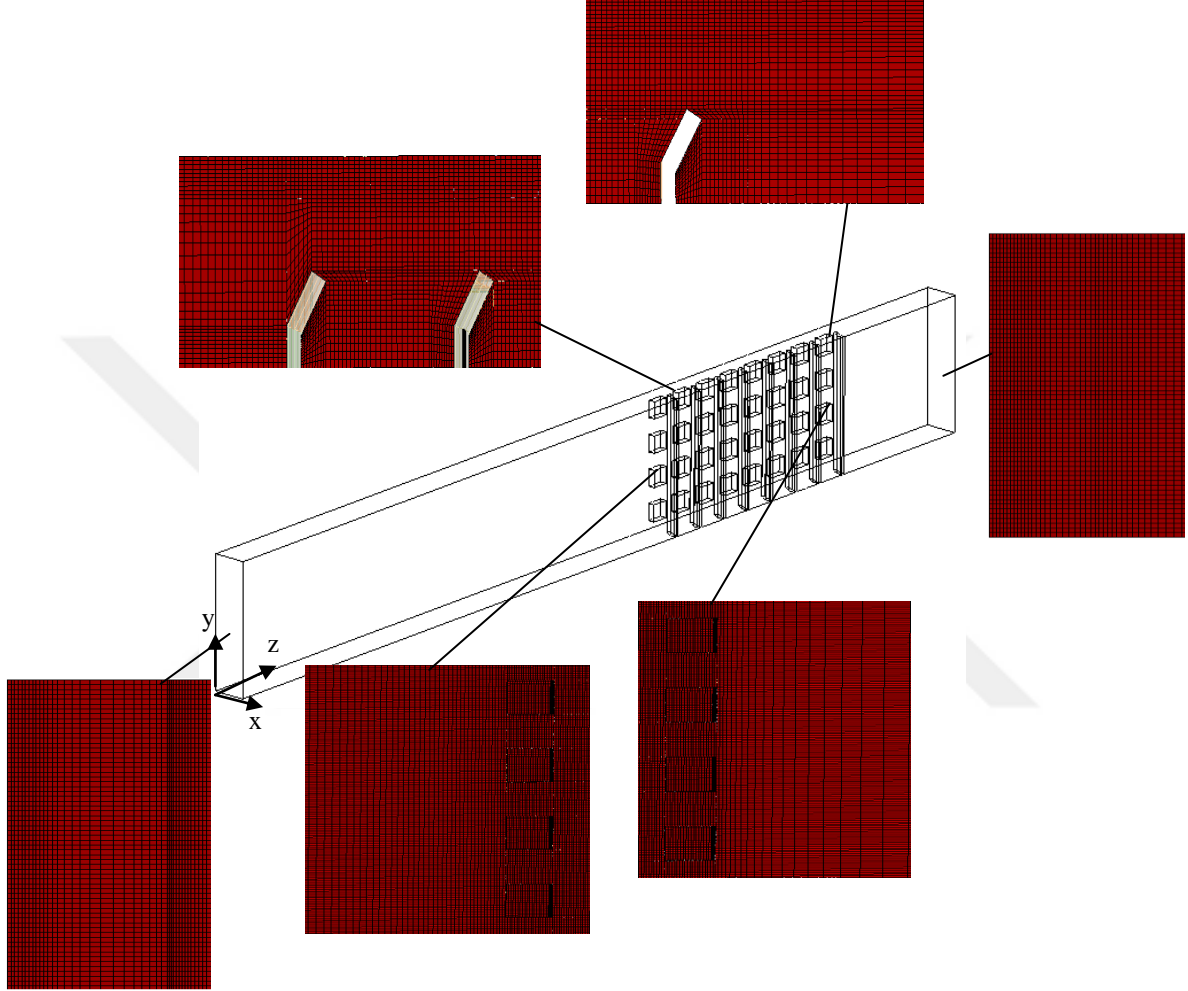


Şekil 4.14. Isıtıcı girişi bölgesinde plaka kullanımı durumundaki geometri için hücre yapısı ve dağılımı (Isıtıcılar yan yüzeylerde)

Fluent/Define/Materials menüsü ile havanın taşınım özellikleri belirlenmiş ve doğal konveksiyonun hesaplamalara dahil edilebilmesi için Fluent/Define/Operating Conditions menüsü ile Boussinesq yaklaşımı kullanılmıştır. Yerçekimi ivmesi ise  $-y$  yönünde alınmıştır.

Eş. 4.1-4.5 numaralı temel korunum denklemlerinin ayrıklaştırılması ve çözümü, ısıtıcıların kanal alt ve üst yüzeylerinde olması durumunu içeren birinci problemde kullanılan matematiksel yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. Fluent/Define/Solution menüsü ile plakasız durumda SIMPLE, plakalı durumlarda ise Pseudo Transient seçeneği ile birlikte Coupled algoritması kullanılmıştır. Yine aynı şekilde ayrıklaştırma işlemi sonucunda elde edilen cebirsel denklemlerdeki ara nokta değerlerinin bulunması için Fluent/Define/Solution/Solution Methods menüsündeki basınç düzeltmesi için Standart metodu, momentum ve enerji denklemleri için UPWIND metodu seçilmiştir. Çözümlemeler kalıntı değerlerinin (Residuals) kütle ve momentumun korunumu için

$1 \times 10^{-6}$ 'dan, enerji denklemleri için ise  $1 \times 10^{-10}$ 'den küçük olduğu duruma kadar devam etmiştir.



Şekil 4.15. Periyodik plaka yerleşimi durumundaki geometri için hücre yapısı ve dağılımı (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde)

#### 4.7. Sayısal Verilerin Analizi

Her bir ısıtıcıya sabit ısı akısı değerleri verilerek sayısal çözümlene yapılmış ve elde edilen sonuçlar kullanılarak Re sayısı, Gr sayısı, Düzeltilmiş Gr sayısı ( $Gr^*$ ), Ri sayısı ve sıra ortalama Nu sayısı Eş. 3.1-3.9'da verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Bölüm 6'da ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

Sayısal verilerin analizinde Eş. 3.1-3.9'da verilen denklemlerden farklı olarak teorik fan gücünün ( $N_{fan}$ ) hesaplanması amacı ile Eş. 4.19 kullanılmıştır.

$$N_{fan} = w_{giriş} \times A_k \times \Delta P \quad (4.19)$$

Burada  $w_{giriş}$  havanın kanala giriş hızını,  $A_k$  akışın gerçekleştiği kesit alanını ve  $\Delta P$  ise kanal giriş ve çıkışındaki basınç farkını ifade etmektedir.

#### 4.8. Sayısal Çözümlerin Doğruluğu

Herhangi bir akış problemi için birden fazla sayısal çözüm elde edilebilir. Bu çözümlerde elde edilen bulguların fiziksel olarak doğruluğunun belirlenebilmesi için sayısal çözümün kendi içerisinde belirli şartları sağlaması ve deneysel sonuçlarla uyumlu olması gerekmektedir. Bu nedenle en uygun hücre dağılımı ve çözüm yönteminin belirlenebilmesi için denemeler yapılır. Çözümlemelerin doğruluğu aşağıda verilen beş ana kriterin sağlanması ile anlaşılabilir;

*1-Sayısal çözümün yakınsaması:* Sayısal çözümleme sırasında kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemleri için iterasyon sayısına bağlı olarak oluşan kalıntı (residuals) değerlerinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu değerlerin tüm hesaplama boyunca azalan şekilde değişmesi çözümün yakınsadığını gösterir. Tüm denklemler için kalıntı değerlerinin mümkün olduğunca sifıra yakın olması çözümün doğruluğu açısından önem teşkil etmektedir.

*2-Çözümün iterasyon sayısından bağımsızlığı:* Akış problemlerinin yapısına bağlı olarak istenilen hassasiyetteki yakınsamanın sağlanması farklı iterasyon sayılarında gerçekleşir. Amaç yakınsamanın iterasyon sayısının artışı ile birlikte devam ettiğinin görülmesidir.

*3-Korunum denklemlerinin sağlanması:*Çözümleme gerçekleştikten sonra temel korunum denklemlerinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilerek bir sonraki kontrol aşamasına geçilir.

*4-Çözümün hücre yapısından bağımsız olması:* Bir akış probleminde hücre dağılımı ve sayısı sayısal çözümün sonuçlarını büyük ölçüde etkilemektedir. Uygun hücre dağılımının

kullanılmaması durumunda yukarıda bahsedilen ilk üç şartın sağlanması mümkün olmayabilir. Diğer yandan buraya kadar anlatılan tüm kriterlerin sağlanması durumunda dahi bulgular deneysel çalışma sonuçları ile uyumlu olmayabilir. Bu nedenle sonuçların fiziksel açıdan doğruluğunun da kontrol edilmesi şarttır. Ayrıca hücre sayısının değişimi ile birlikte elde edilen çözümlerin ihmal edilebilir seviyede değişkenlik göstermesi gerekmektedir.

*5-Sonuçların deneysel çalışma ile uyumluluğu:* Sayısal problemin çözümünde daha önce anlatılan tüm doğruluk kriterleri sağlandıktan sonra en önemli nokta olan deneysel çalışma sonuçları ile uyumluluk kontrol edilir. Bu çalışmada deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarının karşılaştırılması sayısal bulgular kısmında anlatılmış ve tüm kriterlerin sağlanması Ek-I'de verilmiştir.

#### **4.9. Sayısal Çalışma Parametreleri**

Çalışmada ilk problem ısıtıcıların kanal alt ve üst yüzeyinde bulunması durumunda akış yönlendirici plaka kullanımını içermektedir. Bu durumdaki sayısal çözümler ile elde edilen sonuçlar belirli parametre değerleri için deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılarak doğruluğu kontrol edilmiş, sonrasında Çizelge 4.1 ve 4.2'de verilen sayısal çalışma programı uygulanmıştır.

Çizelge 4.1 ve 4.2'deki sayısal çalışma programları uygulanması neticesinde ortaya çıkan sonuçlara bakılarak ısıtıcılar kanal yan yüzeylerinde iken akış yönlendirici plaka kullanılması durumunun sayısal olarak incelenmesine karar verilmiştir. Bu problem için iki durum ele alınmıştır. Birinci durumda ısıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi yapılarak plakasız ve plakalı koşullar için Çizelge 4.3 ve 4.4'de verilen sayısal çalışma programları uygulanmıştır.



Çizelge 4.1. Plakasız koşul için sayısal çalışma programı (Isıtıcılar alt ve üst yüzeyde)

| Re   | Gr*             | Ri   | H/W |
|------|-----------------|------|-----|
| 2000 | $3 \times 10^8$ | 1,9  | 1/2 |
| 2000 | $2 \times 10^8$ | 1,3  | 1/2 |
| 2000 | $1 \times 10^8$ | 0,76 | 1/2 |
| 1400 | $3 \times 10^8$ | 5,2  | 1/2 |
| 930  | $3 \times 10^8$ | 13,5 | 1/2 |

Çizelge 4.2. Plakalı koşul için sayısal çalışma programı (Isıtıcılar alt ve üst yüzeyde)

| Re   | Gr*             | Ri  | $\alpha$ | $L_p/H$ | H/W |
|------|-----------------|-----|----------|---------|-----|
| 2000 | $3 \times 10^8$ | 2   | 30°      | 3/20    | 1/2 |
| 2000 | $2 \times 10^8$ | 1,2 | 30°      | 3/20    | 1/2 |
| 2000 | $1 \times 10^8$ | 0,7 | 30°      | 3/20    | 1/2 |
| 1400 | $3 \times 10^8$ | 6,2 | 30°      | 3/20    | 1/2 |
| 930  | $3 \times 10^8$ | 13  | 30°      | 3/20    | 1/2 |
| 2000 | $3 \times 10^8$ | 2,3 | 60°      | 3/20    | 1/2 |
| 2000 | $3 \times 10^8$ | 2,7 | 0°       | 3/20    | 1/2 |

Periyodik plaka yerleşimi, ısıtıcıların kanal yan yüzeylerinde bulunması koşulunda plaka kullanımını içeren problem için uygulanan ikinci durumdur. Bu durumdaki plakasız ve plakalı koşullar için ise Çizelge 4.5-4.8'de verilen sayısal çalışma programları uygulanmıştır.

Çizelge 4.3. Plakasız koşul için sayısal çalışma programı (Isıtıcılar yan yüzeylerde, birinci durum)

| Re   | Gr*               | Ri  | H/W |
|------|-------------------|-----|-----|
| 1000 | $1,5 \times 10^8$ | 5,6 | 1/2 |
| 1000 | $1 \times 10^8$   | 4   | 1/2 |
| 1000 | $5 \times 10^7$   | 2,1 | 1/2 |
| 860  | $1,5 \times 10^8$ | 8,2 | 1/2 |
| 600  | $1,5 \times 10^8$ | 20  | 1/2 |

Çizelge 4.4. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi için sayısal çalışma programı (Isıtıcılar yan yüzeylerde, birinci durum)

| Re   | Gr*                   | Ri  | $\alpha$ | L <sub>p</sub> /H | H/W |
|------|-----------------------|-----|----------|-------------------|-----|
| 1000 | 1,5x10 <sup>8</sup>   | 5   | 30°      | 3/20              | 1/2 |
| 1000 | 1x10 <sup>8</sup>     | 3,4 | 30°      | 3/20              | 1/2 |
| 1000 | 5x10 <sup>7</sup>     | 1,8 | 30°      | 3/20              | 1/2 |
| 860  | 1,5x10 <sup>8</sup>   | 7,4 | 30°      | 3/20              | 1/2 |
| 600  | 1,5x10 <sup>8</sup>   | 19  | 30°      | 3/20              | 1/2 |
| 1000 | 1,5 x 10 <sup>8</sup> | 4,5 | 60°      | 3/20              | 1/2 |
| 1000 | 1,5 x 10 <sup>8</sup> | 5,1 | 0°       | 3/20              | 1/2 |

Çizelge 4.5. Plakasız koşul için sayısal çalışma programı (Isıtıcılar yan yüzeylerde, ikinci durum)

| Re   | Gr*                 | Ri   | H/W |
|------|---------------------|------|-----|
| 1000 | 1,5x10 <sup>8</sup> | 5,6  | 1/2 |
| 1000 | 1x10 <sup>8</sup>   | 4    | 1/2 |
| 1000 | 5x10 <sup>7</sup>   | 2,1  | 1/2 |
| 860  | 1,5x10 <sup>8</sup> | 8,2  | 1/2 |
| 860  | 1x10 <sup>8</sup>   | 6    | 1/2 |
| 860  | 5x10 <sup>7</sup>   | 3,1  | 1/2 |
| 600  | 1,5x10 <sup>8</sup> | 20   | 1/2 |
| 600  | 1x10 <sup>8</sup>   | 14,5 | 1/2 |
| 600  | 5x10 <sup>7</sup>   | 7,4  | 1/2 |

Çizelge 4.6. Periyodik plaka yerleşimi için sayısal çalışma programı (Isıtıcılar yan yüzeylerde, ikinci durum,  $\alpha=30^\circ$ )

| Re   | L <sub>p</sub> /H | Gr*                 | Ri   | L <sub>p</sub> /H | Gr*                 | Ri   | L <sub>p</sub> /H | Gr*                 | Ri   | H/W |
|------|-------------------|---------------------|------|-------------------|---------------------|------|-------------------|---------------------|------|-----|
| 1000 | 3/20              | 1,5x10 <sup>8</sup> | 3,5  | 1/10              | 1,5x10 <sup>8</sup> | 3,7  | 1/20              | 1,5x10 <sup>8</sup> | 3,8  | 1/2 |
| 1000 | 3/20              | 1x10 <sup>8</sup>   | 2,6  | 1/10              | 1x10 <sup>8</sup>   | 2,7  | 1/20              | 1x10 <sup>8</sup>   | 2,8  | 1/2 |
| 1000 | 3/20              | 5x10 <sup>7</sup>   | 1,3  | 1/10              | 5x10 <sup>7</sup>   | 1,5  | 1/20              | 5x10 <sup>7</sup>   | 1,5  | 1/2 |
| 860  | 3/20              | 1,5x10 <sup>8</sup> | 5    | 1/10              | 1,5x10 <sup>8</sup> | 5,3  | 1/20              | 1,5x10 <sup>8</sup> | 5,4  | 1/2 |
| 860  | 3/20              | 1x10 <sup>8</sup>   | 3,6  | 1/10              | 1x10 <sup>8</sup>   | 3,9  | 1/20              | 1x10 <sup>8</sup>   | 3,9  | 1/2 |
| 860  | 3/20              | 5x10 <sup>7</sup>   | 2    | 1/10              | 5x10 <sup>7</sup>   | 2,1  | 1/20              | 5x10 <sup>7</sup>   | 2,1  | 1/2 |
| 600  | 3/20              | 1,5x10 <sup>8</sup> | 11,8 | 1/10              | 1,5x10 <sup>8</sup> | 12,8 | 1/20              | 1,5x10 <sup>8</sup> | 13,7 | 1/2 |
| 600  | 3/20              | 1x10 <sup>8</sup>   | 8,5  | 1/10              | 1x10 <sup>8</sup>   | 9,4  | 1/20              | 1x10 <sup>8</sup>   | 9,5  | 1/2 |
| 600  | 3/20              | 5x10 <sup>7</sup>   | 4,5  | 1/10              | 5x10 <sup>7</sup>   | 5    | 1/20              | 5x10 <sup>7</sup>   | 4,9  | 1/2 |

Çizelge 4.7. Periyodik plaka yerleşimi için sayısal çalışma programı (Isıtıcılar yan yüzeylerde, ikinci durum,  $\alpha=60^\circ$ )

| Re   | $L_p/H$ | $Gr^*$            | Ri   | $L_p/H$ | $Gr^*$            | Ri   | $L_p/H$ | $Gr^*$            | Ri  | H/W |
|------|---------|-------------------|------|---------|-------------------|------|---------|-------------------|-----|-----|
| 1000 | 3/20    | $1,5 \times 10^8$ | 3,9  | 1/10    | $1,5 \times 10^8$ | 4    | 1/20    | $1,5 \times 10^8$ | 4,2 | 1/2 |
| 1000 | 3/20    | $1 \times 10^8$   | 2,9  | 1/10    | $1 \times 10^8$   | 3    | 1/20    | $1 \times 10^8$   | 3,1 | 1/2 |
| 1000 | 3/20    | $5 \times 10^7$   | 1,6  | 1/10    | $5 \times 10^7$   | 1,6  | 1/20    | $5 \times 10^7$   | 1,7 | 1/2 |
| 860  | 3/20    | $1,5 \times 10^8$ | 5,6  | 1/10    | $1,5 \times 10^8$ | 5,8  | 1/20    | $1,5 \times 10^8$ | 6,1 | 1/2 |
| 860  | 3/20    | $1 \times 10^8$   | 4,1  | 1/10    | $1 \times 10^8$   | 4,2  | 1/20    | $1 \times 10^8$   | 4,4 | 1/2 |
| 860  | 3/20    | $5 \times 10^7$   | 2,2  | 1/10    | $5 \times 10^7$   | 2,3  | 1/20    | $5 \times 10^7$   | 2,4 | 1/2 |
| 600  | 3/20    | $1,5 \times 10^8$ | 14,1 | 1/10    | $1,5 \times 10^8$ | 14,7 | 1/20    | $1,5 \times 10^8$ | 15  | 1/2 |
| 600  | 3/20    | $1 \times 10^8$   | 9,9  | 1/10    | $1 \times 10^8$   | 10,5 | 1/20    | $1 \times 10^8$   | 11  | 1/2 |
| 600  | 3/20    | $5 \times 10^7$   | 5,1  | 1/10    | $5 \times 10^7$   | 5,6  | 1/20    | $5 \times 10^7$   | 5,6 | 1/2 |

Çizelge 4.8. Periyodik plaka yerleşimi için sayısal çalışma programı (Isıtıcılar yan yüzeylerde, ikinci durum,  $\alpha=0^\circ$ )

| Re   | $L_p/H$ | $Gr^*$            | Ri   | $L_p/H$ | $Gr^*$            | Ri   | $L_p/H$ | $Gr^*$            | Ri   | H/W |
|------|---------|-------------------|------|---------|-------------------|------|---------|-------------------|------|-----|
| 1000 | 3/20    | $1,5 \times 10^8$ | 3,6  | 1/10    | $1,5 \times 10^8$ | 3,8  | 1/20    | $1,5 \times 10^8$ | 3,9  | 1/2 |
| 1000 | 3/20    | $1 \times 10^8$   | 2,7  | 1/10    | $1 \times 10^8$   | 2,8  | 1/20    | $1 \times 10^8$   | 2,9  | 1/2 |
| 1000 | 3/20    | $5 \times 10^7$   | 1,4  | 1/10    | $5 \times 10^7$   | 1,5  | 1/20    | $5 \times 10^7$   | 1,6  | 1/2 |
| 860  | 3/20    | $1,5 \times 10^8$ | 5,2  | 1/10    | $1,5 \times 10^8$ | 5,3  | 1/20    | $1,5 \times 10^8$ | 5,5  | 1/2 |
| 860  | 3/20    | $1 \times 10^8$   | 3,8  | 1/10    | $1 \times 10^8$   | 3,9  | 1/20    | $1 \times 10^8$   | 4,1  | 1/2 |
| 860  | 3/20    | $5 \times 10^7$   | 2    | 1/10    | $5 \times 10^7$   | 2,1  | 1/20    | $5 \times 10^7$   | 2,2  | 1/2 |
| 600  | 3/20    | $1,5 \times 10^8$ | 11,9 | 1/10    | $1,5 \times 10^8$ | 12,7 | 1/20    | $1,5 \times 10^8$ | 13,8 | 1/2 |
| 600  | 3/20    | $1 \times 10^8$   | 8,7  | 1/10    | $1 \times 10^8$   | 9,1  | 1/20    | $1 \times 10^8$   | 9,7  | 1/2 |
| 600  | 3/20    | $5 \times 10^7$   | 4,7  | 1/10    | $5 \times 10^7$   | 4,9  | 1/20    | $5 \times 10^7$   | 5    | 1/2 |



## 5. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölümde, ısıtıcıların kanal alt ve üst yüzeylerinde bulunması durumunda akış yönlendirici plaka kullanımını içeren problem için deneysel sonuçlar yer almaktadır. Deneysel çalışma belirli plaka açısı ( $\alpha=30^\circ$ ) ve  $L_p/H$  oranı ( $L_p/H=3/20$ ) değerleri için değişken  $Re$ ,  $Gr^*$ ,  $Ri$  sayıları ve laminar akış koşullarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma sonucu elde edilen sıcaklık değerleri  $Nu_{sıra\ ort.}$ ,  $Ri$ ,  $Gr$  ve  $Gr^*$  sayılarının hesaplanmasında kullanılmış ve aşağıda içeriği belirtilen grafikler halinde sunulmuştur.

Sıra ortalama  $Nu$  sayısının ( $Nu_{sıra\ ort.}$ ) plaka açısı ( $\alpha$ ) ve  $Gr^*$  sayısına göre değişimini içeren grafikler ısı transfer mekanizmasının zorlanmış, doğal veya karışık konveksiyonun etkisi altında nasıl gerçekleştiğinin gösterilmesi amacı ile oluşturulmuştur. Literatürde yer alan çalışmalara göre  $Ri$  sayısının  $Ri=1$ 'e yakın olduğu durumlarda karışık konveksiyon etkisinin,  $Ri<1$  olduğu durumlarda zorlanmış konveksiyon etkisinin,  $Ri>1$  olduğu durumlarda ise doğal konveksiyon etkisinin daha baskın olduğu belirtilmektedir.

Sıra ortalama sıcaklık farkının ( $(T_s - T_{giriş})_{sıra\ ort.}$ ) plaka açısı ( $\alpha$ ) ve  $Gr^*$  sayısına göre değişimini içeren grafikler ise ısıtıcıların hasar görmeden çalışabileceği sıcaklık değerlerini aşım aşmadığının belirlenmesi için oluşturulmuştur.

Sıra ortalama  $Nu$  sayısının ( $Nu_{sıra\ ort.}$ ) ve sıra ortalama sıcaklık farkı ( $(T_s - T_{giriş})_{sıra\ ort.}$ ) değerlerinin  $Re$  sayısına göre değişim grafikleri de sıra ortalama  $Nu$  sayısı ve sıcaklık farkının hava hızına bağlı olarak nasıl değiştiğini göstermek amacı ile oluşturulmuştur.

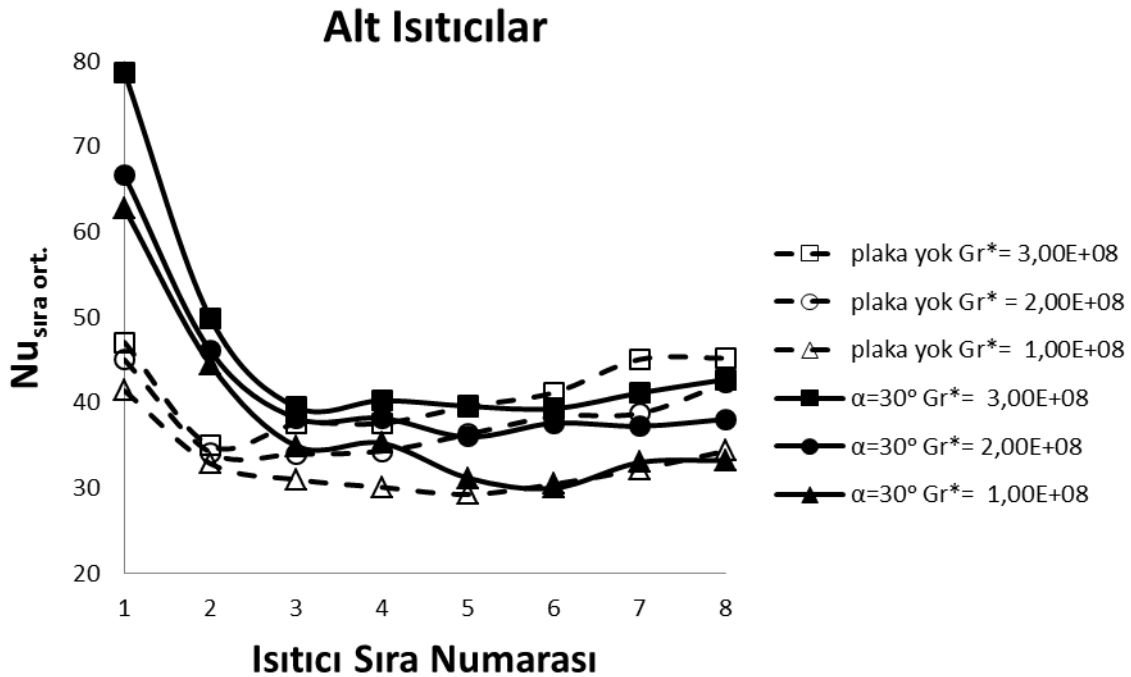
### 5.1. Akış Yönlendirici Plakalı ve Plakasız Durumlar İçin Deneysel Sonuçlar

Deneysel sonuçlar doğrultusunda elde edilen grafikler, plaka açısının  $\alpha=30^\circ$ , plakalar arası boşluk mesafesinin kanal yüksekliğine oranının  $L_p/H=3/20$  ve kanal yüksekliğinin kanal genişliğine oranının  $H/W=1/2$  olduğu plakalı ve plakasız durumlar için gerçekleştirilmiştir.

Aşağıdaki verilen Şekil 5.1-5.4'de  $Re=2000$  değeri için farklı  $Gr^*$  sayılarında plakalı ve plakasız durumlar arasındaki karşılaştırmalar verilmektedir. Plakalı ve plakasız durumlar

kendi içerisinde değerlendirildiğinde  $Gr^*$  sayısındaki düşüş ile birlikte doğal konveksiyonunda azalması sonucunda ısı transferi miktarı da düşmektedir.

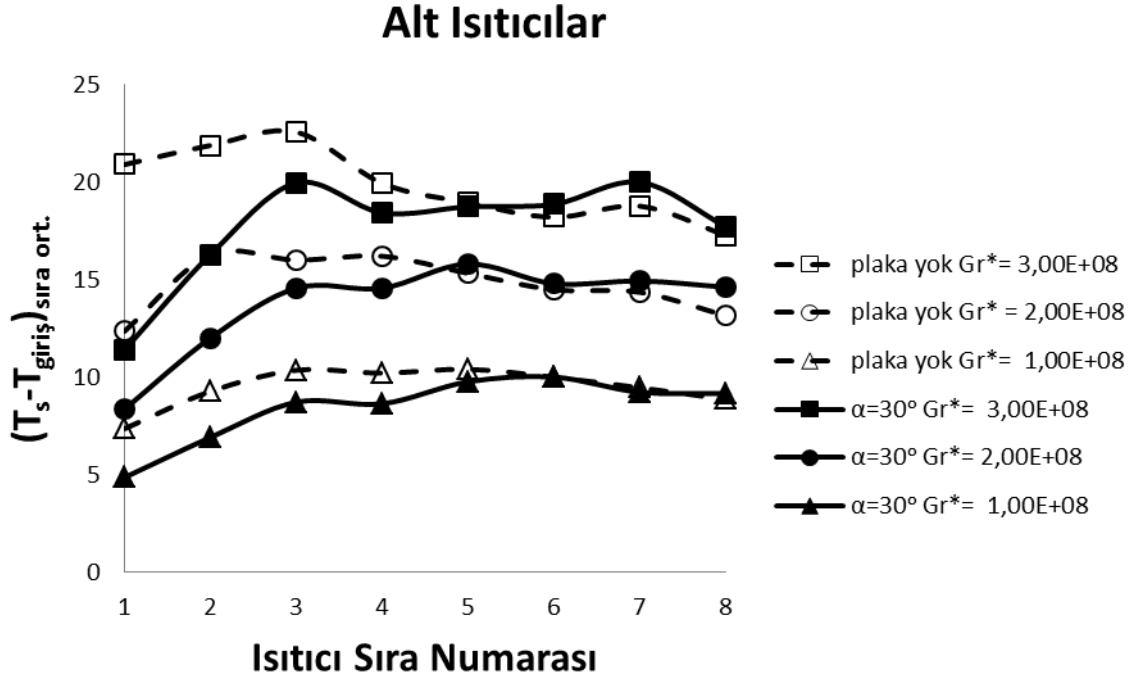
Alt ısıtıcılar için (Şekil 5.1) kanal içerisinde plakanın bulunduğu ve bulunmadığı durumların her ikisinde de ısıtıcılardaki ısı transferi belirli bir ısıtıcı sırasına kadar azalarak devam etmiştir. Daha sonra kaldırma kuvvetinin etkili olduğu ikincil akışın etkisi ile sıcaklıkların düşmesi sonucu ısı transferi son ısıtıcılara doğru artmaya başlamıştır. Plakalı ve plakasız durumlar birbiri ile karşılaştırıldığında ise alt ısıtıcılar için plaka kullanılması ile ilk 4 ısıtıcı sırasında sıra ortalama  $Nu$  sayısında artış görülmekte son 3 ısıtıcı sırasında ise  $Gr^*=3 \times 10^8$  ve  $Gr^*=2 \times 10^8$  değerleri için ısı transferi miktarında düşme meydana gelmektedir.  $Gr^*$  sayısının düşürülmesi ile birlikte ( $Gr^*=1 \times 10^8$ ) 5.-8. ısıtıcı sıralarında da plakasız duruma göre ısıtıcı sıcaklıkları yaklaşık olarak aynı kalmıştır.



Şekil 5.1. Alt ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama  $Nu$  sayısının  $Gr^*$  sayısına göre değişimi ( $Re=2000$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

Şekil 5.2'de görüldüğü gibi tüm  $Gr^*$  sayılarında alt ısıtıcı sıcaklıkları belirli bir ısıtıcı sırasına kadar artış göstermiştir. Daha sonra doğal konveksiyonun etkisi ile düşmeye başlamıştır.  $Gr^*$  sayısının düşmesi sonucu doğal konveksiyonun etkisinin de azalması ile birlikte plakalı ve plakasız durumlar karşılaştırıldığında ilk 4 ısıtıcı sırası arasındaki sıcaklık farkları azalmıştır. Alt ısıtıcılar için  $30^\circ$  açı ile plaka yerleştirilmesi durumunda

belirli bir Re sayısı için yüksek ısı akısı değerinde ( $Gr^*=3 \times 10^8$ ) ısı transfer artışının ilk 5 ısıtıcı sırası için daha fazla olduğu görülmektedir.

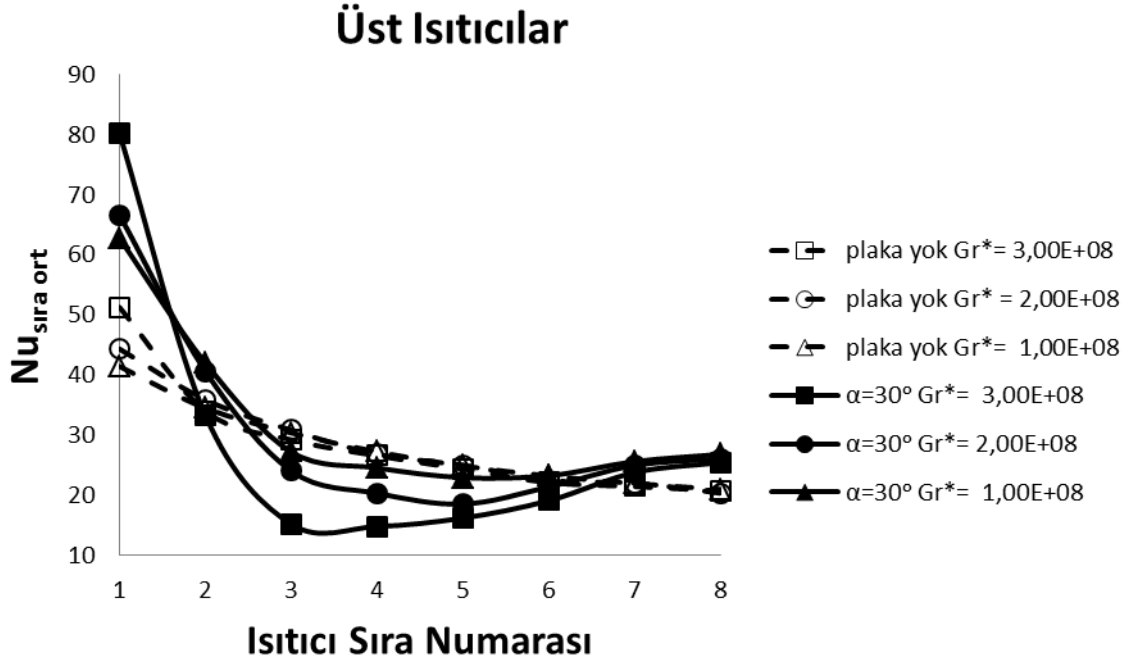


Şekil 5.2. Alt ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama  $T_s - T_{giriş}$  değerlerinin  $Gr^*$  sayısına göre değişimi ( $Re=2000$ ,  $L_p/H = 3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

Üst ısıtıcı sıralarına bakıldığında ise (Şekil 5.3) plakasız durumda ısı transferi miktarının 1. ısıtıcı sırasından itibaren son ısıtıcı sırasına kadar düştüğü gözlemlenmektedir. Isı transferi miktarı  $Gr^*$  sayısının değişiminden az miktarda etkilenmiştir.  $30^\circ$  açı ile plaka yerleştirilmesi durumunda ise plakasız duruma göre ilk iki ısıtıcı ve son iki ısıtıcı sırasında  $Gr^*$  sayısına bağlı olarak ısı transferi miktarında artış görülmektedir. 3-6. ısıtıcı sıralarında ise plakanın olmadığı duruma göre ısı transferi miktarında büyük oranda azalma meydana gelmiştir. Plakalı durum için Şekil 5.3'de görüldüğü gibi  $Gr^*$  sayısının azalması ile birlikte ısı transferi miktarında artış meydana gelmiştir. Sonuç olarak üst ısıtıcılar için plaka yerleşiminin düşük ısı akılarında daha uygun olduğu anlaşılmaktadır. Yüksek ısı akılarında ise plakasız duruma göre ısıtıcıların büyük çoğunluğunda ısı transferi kayıplarının yüksek olması nedeni ile plaka kullanımı uygun olmamaktadır.

Şekil 5.4 incelendiğinde ise plakanın olmadığı durumda üst ısıtıcı sıralarında sıcaklıkların sürekli arttıkları gözlemlenmektedir. Bu durum sayısal bulgular bölümünde de bahsedildiği gibi ısıtıcı yüzeyindeki ısınan havanın doğal konveksiyonun etkisi ile yükselerek ısıtıcılar arasına girmesi ve sıcaklığı tekrar artırmasından kaynaklanmaktadır. Plaka yerleştirilmesi

durumunda ise ısı akısının artışı ile birlikte ilk ve son ısıtıcı sıraları dışında diğer ısıtıcı sıralarındaki sıcaklık değerleri plakasız durumla kıyaslandığında artış göstermiş ve sistemi olumsuz yönde etkilemiştir. Şekil 5.4' deki ısıtıcı sıcaklıklarına bakılarak da üst ısıtıcılarda plaka yerleşiminin düşük ısı akılarında uygun olacağı sonucu çıkmaktadır.



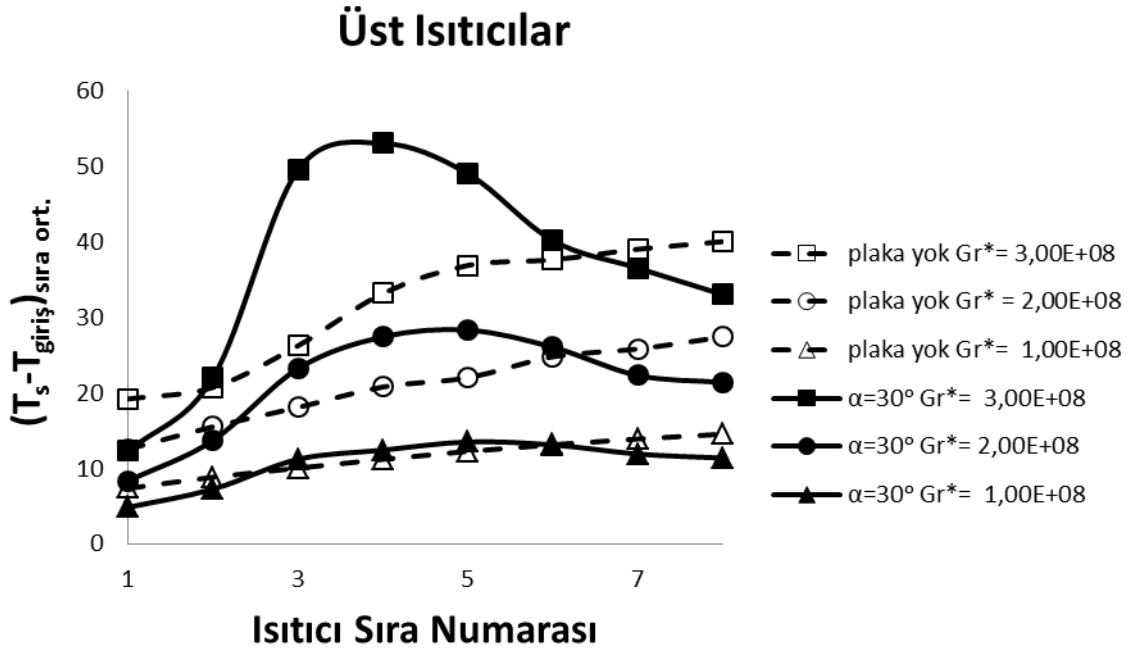
Şekil 5.3. Üst ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama Nu sayısının  $Gr^*$  sayısına göre değişimi ( $Re=2000$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

$Gr^*$  sayısı değişimine bağlı olarak elde edilen deneysel sonuçlardan görüldüğü üzere belirli bir  $Re$  sayısı ve plaka açısı değerinde üst ısıtıcı sıraları için her bir ısıtıcının güvenli ve sorunsuz şekilde işlevini gerçekleştirebilmesi koşulu göz önünde bulundurulduğunda düşük ısı akılarında plaka yerleşiminin daha uygun olduğu görülmektedir.

Şekil 5.5'de farklı  $Re$  sayıları için plakalı ve plakasız durumdaki Nu sayısı dağılımları görülmektedir. Plaka yerleşiminin yapılmadığı koşulda  $Re$  sayısının düşüşü ile birlikte sıcaklık farkından kaynaklanan ikincil akışın etkisi ile 3.-6. ısıtıcı sıralarındaki ısı transfer miktarı artmıştır.  $Re=2000$  için ilk 4 ısıtıcıdaki ısı transferi miktarının plakalı durumda daha iyi olduğu ve diğer ısıtıcı sıralarında ise plaka kullanımı ile ısı transferinin bir miktar düştüğü gözlemlenmektedir.  $Re$  sayısının düşürülmesi ile birlikte plakalı durumdaki ısı transferi değerinde plakasız duruma göre son 3 ısıtıcı sırasındaki azalma miktarı artmıştır.  $Re=1400$  ve  $Re=930$  durumları için de 5. ısıtıcı sırasından sonra sıcaklıkların yükselerek



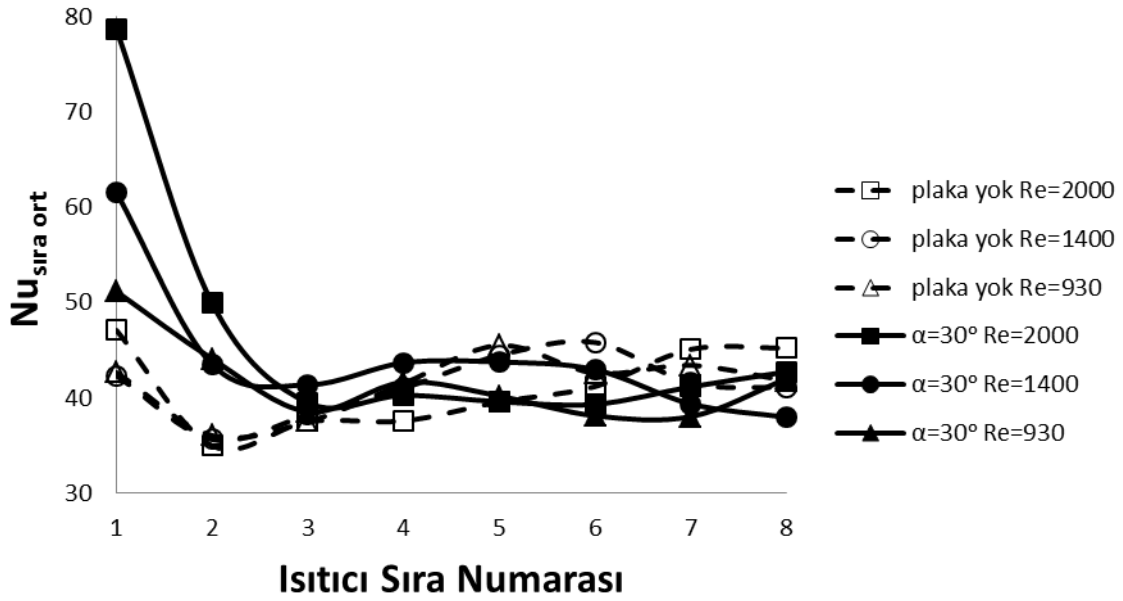
ısı transferinin azalması nedeni ile plaka kullanımının yalnızca ilk dört ısıtıcı sırası için uygun olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle alt ısıtıcılar için yüksek hava hızlarında plaka yerleşiminin daha uygun sonuçlar vermektedir.



Şekil 5.4. Üst ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama  $T_s - T_{giriş}$  değerlerinin  $Gr^*$  sayısına göre değişimi ( $Re=2000$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

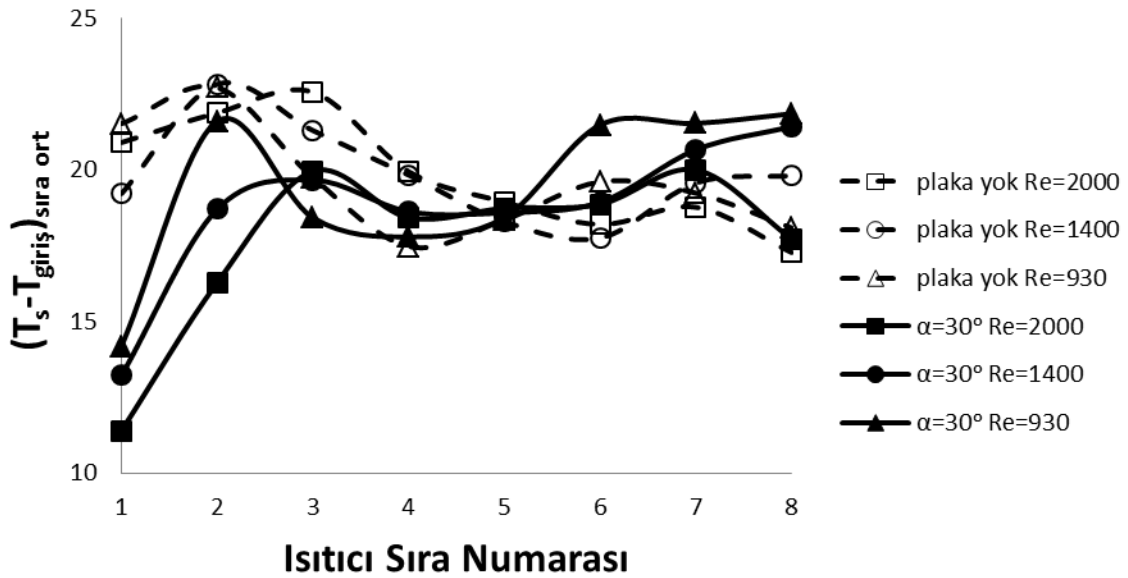
Şekil 5.6'da ise Şekil 5.5'de verilen  $Nu$  sayısı dağılımına paralel olarak oluşan farklı  $Re$  sayılarındaki alt ısıtıcı sıcaklıkları verilmektedir. Plakasız durumda tüm  $Re$  sayıları için 3. ısıtıcı sırasından sonra doğal konveksiyonun etkisi ile ısıtıcı sıcaklıkları düşmüştür. Plaka yerleşimi sonucunda ise tüm  $Re$  sayısı değerlerinde ilk dört ısıtıcı sırasında ısıtıcı sıcaklıklarının plakasız duruma göre daha düşük olduğu görülmektedir. Fakat son dört ısıtıcı sırasındaki sıcaklık değerleri  $Re$  sayısına bağlı olarak değişim göstermiştir.  $Re=2000$  değerinde plakalı ve plakasız durumdaki son dört ısıtıcı sıcaklık değerleri birbirine yakın olmasına rağmen  $Re$  sayısının azalması ile birlikte ısıtıcı sıcaklıkları plakasız duruma göre artmıştır.

### Alt Isıtıcılar



Şekil 5.5. Alt ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ( $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

### Alt Isıtıcılar

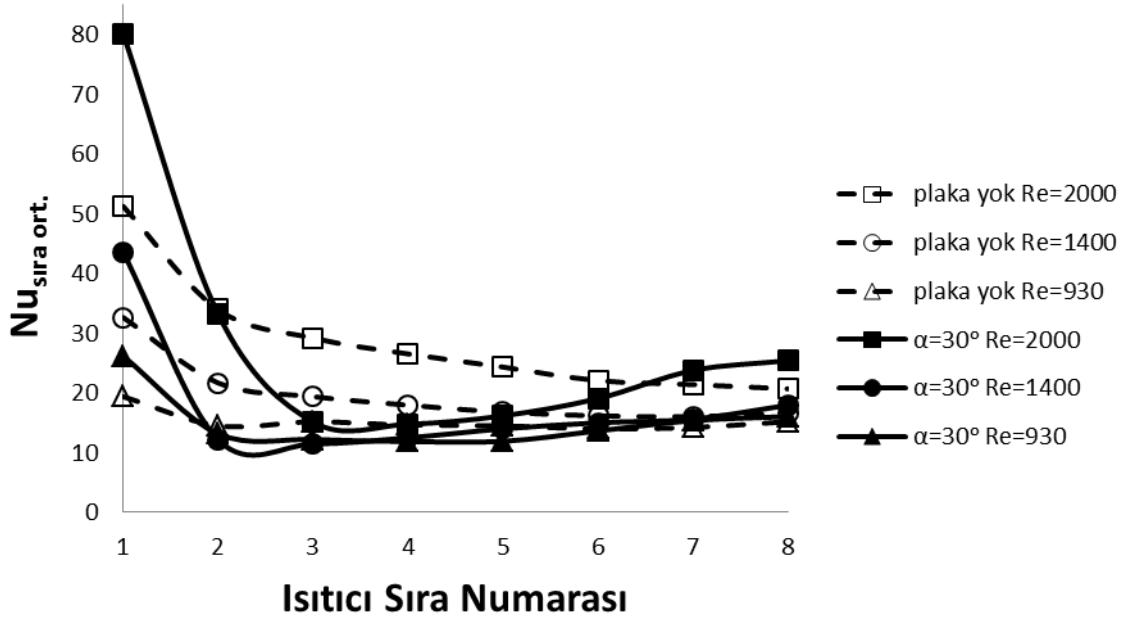


Şekil 5.6. Alt ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama  $T_s - T_{giriş}$  değerlerinin Re sayısına göre değişimi ( $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

Re sayısı değişiminin plakalı ve plakasız durumlarda üst ısıtıcılardaki Nu sayısı dağılımına etkisi incelendiğinde ise (Şekil 5.7) yüksek Re sayısında (Re=2000) yalnızca ilk ısıtıcı sırasında ve son iki ısıtıcı sırasında oluşan ısı transferi miktarının plaka yerleşiminin sonucunda daha iyi hale geldiği görülmektedir. Re sayısının düşmesi ile birlikte plakalı

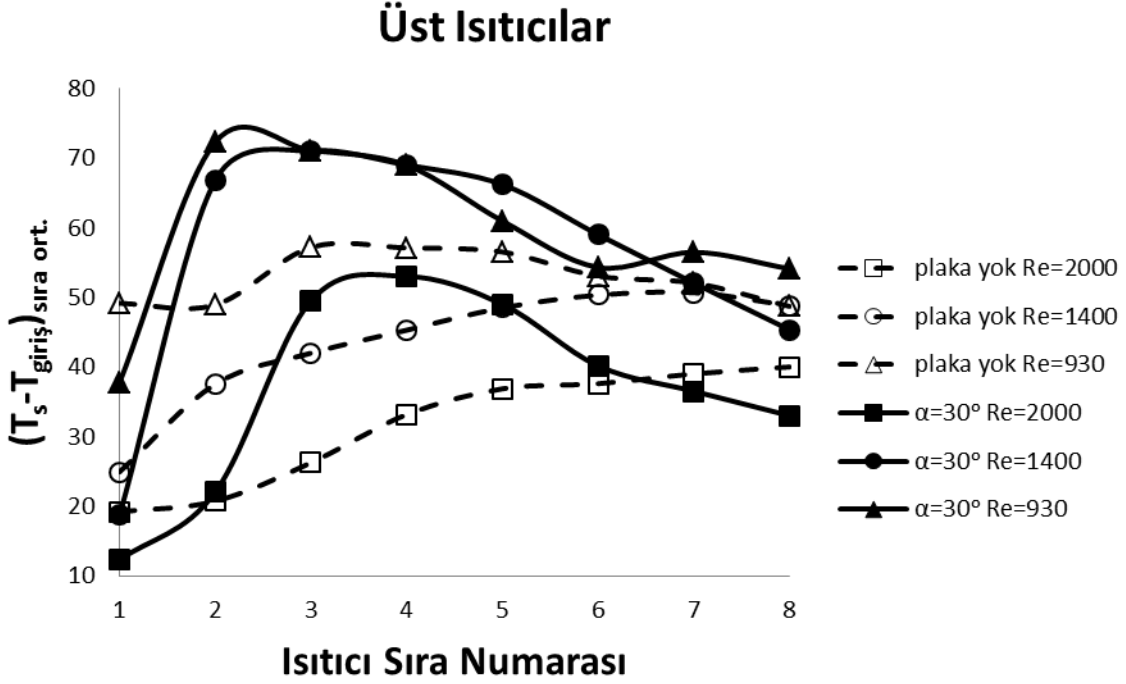
durumda son iki ısıtıcı sırasındaki ısı transferi miktarları plakanın bulunmadığı durumdaki değerlerle aynı kalmıştır. Diğer ısıtıcı sıralarındaki ısı transferi miktarları ise plakasız duruma göre tüm Re sayısı değerleri için azalmıştır.

## Üst Isıtıcılar



Şekil 5.7. Üst ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ( $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

Şekil 5.8'e bakıldığında ilk ısıtıcı sırası ve son iki ısıtıcı sırası haricindeki ısıtıcı sıcaklıkları tüm Re sayıları için plakasız duruma göre artış göstermiştir. Diğer yandan Re=930 değeri için son iki ısıtıcı sırasının sıcaklıklarında da plakasız duruma göre artış meydana gelmiştir. Re sayısının azalması birlikte plaka yerleşiminin yapılmadığı durumla kıyaslandığında ısıtıcı sıcaklıkları daha da artmaktadır. Bu nedenle sayısal sonuçlar kısmında daha ayrıntılı açıklanacağı üzere üst ısıtıcılar için plaka kullanımının ilk ısıtıcı sırası haricinde değişken Re sayıları için de fayda sağlamadığı sonucu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.8. Üst ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama  $T_s - T_{giris}$  değerlerinin Re sayısına göre değişimi ( $Gr^* = 3 \times 10^8$ ,  $L_p/H = 3/20$ ,  $H/W = 1/2$ )

Elde edilen sonuçlara bakıldığında kanal alt yüzeyinde bulunan ısıtıcılar için plaka kullanımının yüksek hava hızı değerlerinde ısı transferi miktarını daha iyi artırdığı anlaşılmaktadır. Ayrıca plaka kullanımı ile  $Gr^*$  sayısının değişimine bağlı olmaksızın belirli bir ısıtıcı sırasına kadar sıcaklıklar düşürülmüş fakat diğer ısıtıcı sıralarındaki sıcaklıklar plakasız durumdaki ısıtıcı sıcaklıkları ile kıyaslandığında artış göstermiştir.

Üst ısıtıcı sıraları için edilen sonuçlara bakıldığında ise plaka kullanımı ısı transferi ve sıcaklık dağılımı bakımından incelendiğinde yalnızca ilk ısıtıcı sırası ve son iki ısıtıcı sırası için uygun olmaktadır. Diğer ısıtıcı sıralarında ise ısıtıcı sıcaklıklarının yükselmesi sonucu ısı transferi oranı büyük oranda azalmıştır. Ayrıca hava hızının düşmesi ile birlikte ilk ısıtıcı sırasındaki ısı transferi artışı da azalmakta ve son iki ısıtıcı sırasındaki sıcaklıklarda plakasız duruma göre iyileşme göstermemektedir.

Deneysel bulgulardan da anlaşılacağı gibi  $\alpha = 30^\circ$  ile kanal girişine plaka yerleştirilmesi laminar akış koşulları altında kanal alt yüzeyindeki ısıtıcıların bir kısmında plakasız duruma göre daha iyi soğutma koşulları sağlamıştır. Fakat üst yüzeydeki ısıtıcılarda oluşan ısı transferi ve sıcaklık dağılımı incelendiğinde plaka yerleşimi ile plakasız duruma göre ısıtıcıların büyük bir kısmının sıcaklıkları artmış ve ısı transferinde belirgin bir azalma

meydana gelmiştir. Bu nedenle önce ele alınan probleme uygun matematiksel bir model oluşturularak belirli parametre değerleri için deneysel çalışma sonuçları ile uyumlu sayısal sonuçlar elde edilmiştir. Sonrasında ise ısı transferinin iyileştirilerek daha uygun soğutma koşullarının sağlanabilmesi amacı ile farklı kanal ve plaka yerleşim düzenleri için sayısal analizler yapılmıştır. Bu doğrultuda farklı plaka açıları ( $\alpha$ ), yerleşim düzenleri ve  $L_p/H$  oranları için yapılan sayısal analizler sonucunda elde edilen ısı transferi ve sıcaklık dağılımı değerleri grafikler halinde ayrıntılı olarak sayısal sonuçlar (Bölüm 6) bölümünde sunulmuştur.





## 6. SAYISAL SONUÇLAR

Çalışmanın bu bölümünde, ısıtıcıların kanal alt/üst yüzeylerinde ve yan yüzeylerinde bulunması durumunda akış yönlendirici plaka kullanımını içeren iki farklı problem için sayısal sonuçlar yer almaktadır. Sayısal çalışma üç farklı plaka açısı kullanılarak ( $\alpha=30^\circ, 60^\circ, 0^\circ$ ) değişken Re, Gr\* ve Ri sayıları ile farklı  $L_p/H$  oranlarında laminar akış şartları için gerçekleştirilmiştir.

Sayısal çalışmadan elde edilen veriler Nu, Gr\* ve Ri sayılarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar bölümünde olduğu gibi bu bölümde de ısı transferi ve sıcaklık dağılımının Gr\* ve Re sayısına bağlı olarak değişimi aşağıda içeriği belirtilen grafikler halinde sunulmuştur,

Sıra ortalama Nu sayısının ( $Nu_{\text{sıra ort.}}$ ) plaka açısı ( $\alpha$ ) ve Gr\* sayısına göre değişimini içeren grafikler ısı transfer mekanizmasının zorlanmış, doğal veya karışık konveksiyonun etkisi altında nasıl gerçekleştiğinin gösterilmesi amacı ile oluşturulmuştur. Literatürde yer alan çalışmalara göre Ri sayısının  $Ri=1$  olduğu durumlarda karışık konveksiyon etkisinin,  $Ri<1$  olduğu durumlarda zorlanmış konveksiyon etkisinin,  $Ri>1$  olduğu durumlarda ise doğal konveksiyon etkisinin daha baskın olduğu belirtilmektedir.

Sıra ortalama sıcaklık farkı ( $(T_s - T_{\text{giriş}})_{\text{sıra ort.}}$ ) değerlerinin plaka açısı ( $\alpha$ ) ve Gr\* sayısına göre değişimini içeren grafikler ise ısıtıcıların hasar görmeden çalışabileceği limit sıcaklık değerlerini aşıp aşmadığının belirlenmesi için oluşturulmuştur.

Sıra ortalama Nu sayısının ve sıra ortalama sıcaklık farkı değerlerinin Re sayısına göre değişim grafikleri de sıra ortalama Nu sayısı ve sıra ortalama sıcaklık farkı değerlerinin hava hızına bağlı olarak nasıl değiştiğini göstermek amacı ile verilmiştir.

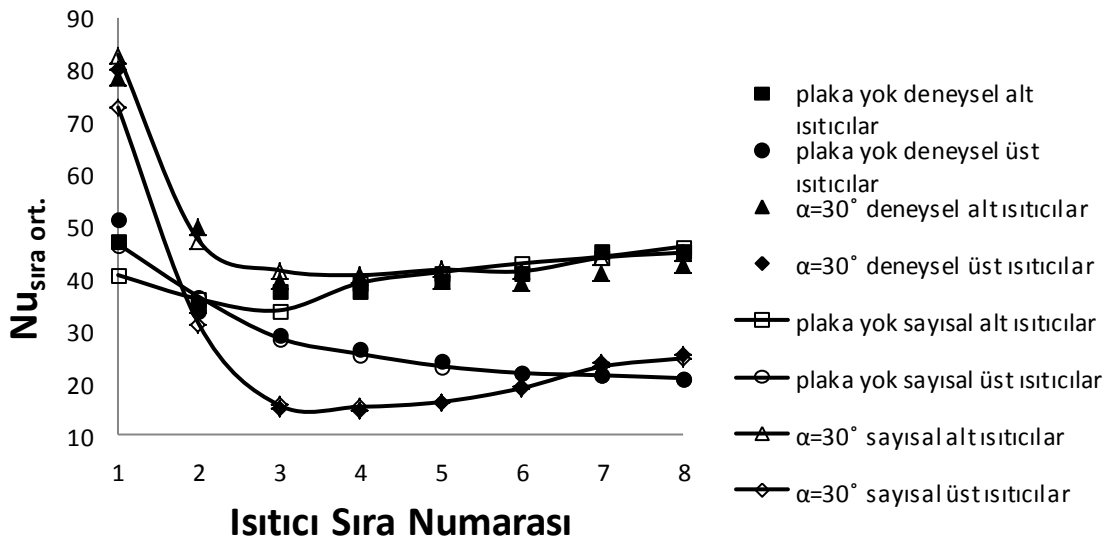
Sıra ortalama Nu sayısının ve sıra ortalama sıcaklık farkı değerlerinin  $L_p/H$  oranına göre değişimini içeren grafikler ise sıra ortalama Nu sayısı ve sıra ortalama sıcaklık farkı değerlerinin plakalar arası mesafeye bağlı olarak nasıl değiştiğini göstermektedir.

Kanal içerisindeki her bölgede oluşan sıcaklık, hız ve basınç dağılımının incelenmesi için deneysel sonuçlardaki grafiklerden farklı olarak hız vektörleri, sıcaklık ve basınç kontörlerine yer verilmiştir. Ayrıca farklı plaka yerleşim düzenleri ve Re sayısı değişimlerine bağlı olarak ortaya çıkan teorik fan gücü ( $N_{fan}$ ) gereksinimleri de grafikler halinde ayrıntılı olarak sunulmuştur.

### 6.1. Sayısal Sonuçların Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması

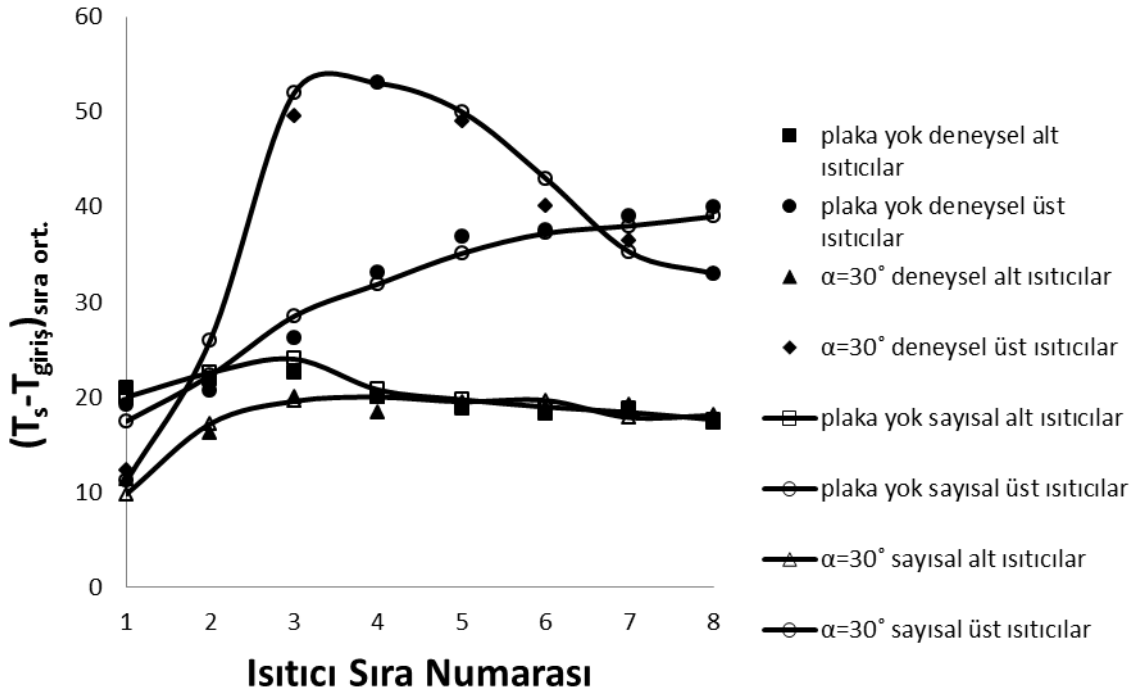
Sayısal çözümler, doğruluğunun kontrol edilmesi amacı ile belirli deneysel çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Aşağıdaki grafiklerde ısıtıcıların kanal alt ve üst yüzeylerinde bulunması koşulunda, plakalı ve plakasız durumlar için iki farklı Re sayısında deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarının karşılaştırılması verilmektedir.

Şekil 6.1-6.4’de verilen grafiklerde görüldüğü gibi sayısal çalışma sonuçları deneysel sonuçlarla büyük oranda uyum sağlamaktadır. Bu durum sayısal olarak parametrik çalışma yapılabilmesi ve farklı plaka yerleşim düzenlerinin ısı transferi ve sıcaklık dağılımı üzerine etkilerinin deney düzeneğine ihtiyaç duyulmaksızın incelenebilmesine olanak sağlamaktadır.

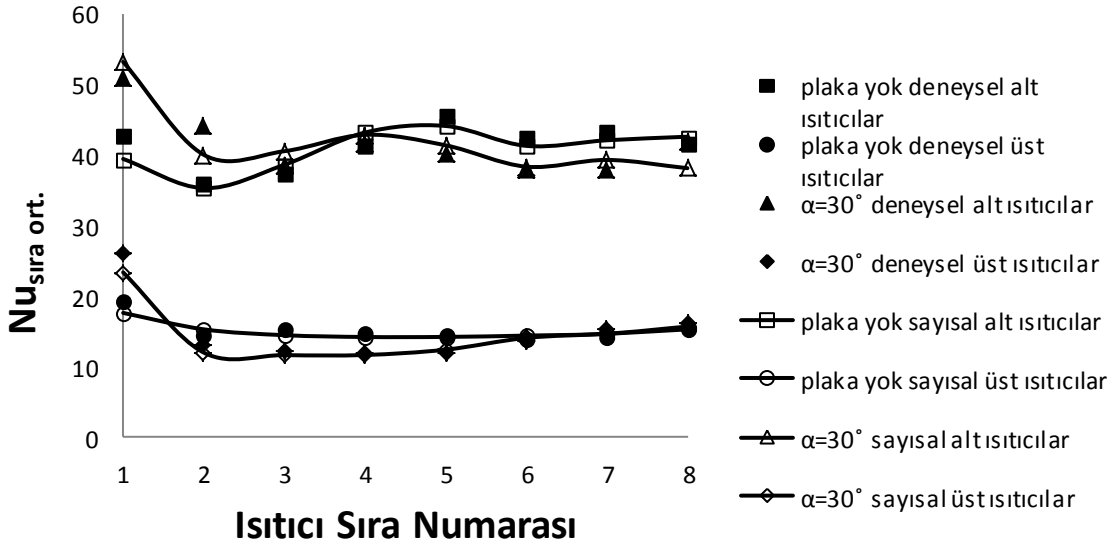


Şekil 6.1. Plakalı ve plakasız durumlardaki deneysel ve sayısal sonuçların sıra ortalama Nu sayısı değerleri için karşılaştırılması ( $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $Re=2000$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

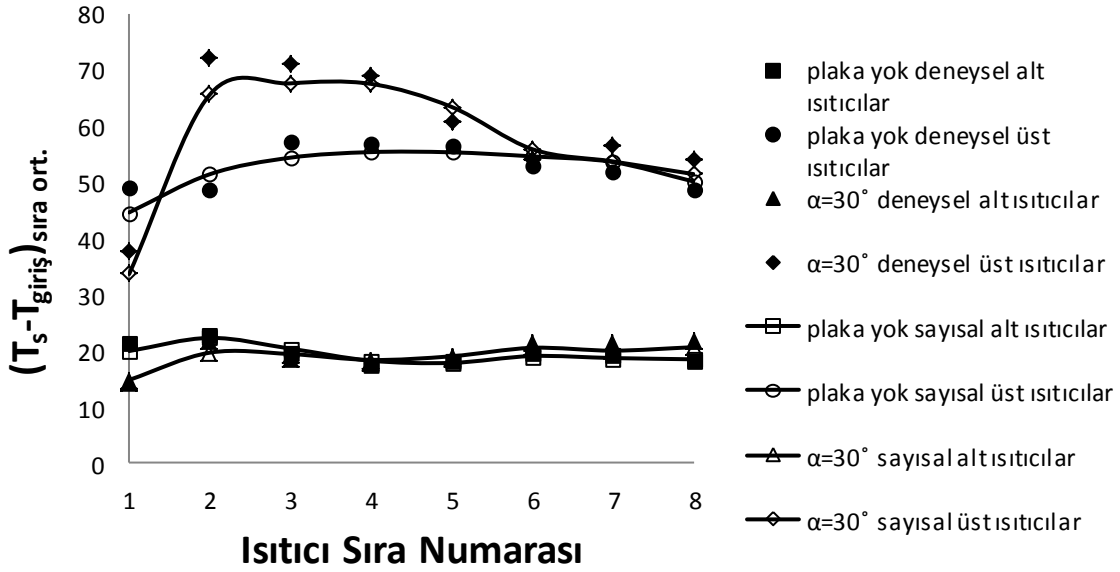




Şekil 6.2. Plakalı ve plakasız durumlardaki deneysel ve sayısal sonuçların sıra ortalama  $T_s - T_{giriş}$  değerleri için karşılaştırılması ( $Re=2000$ ,  $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )



Şekil 6.3. Plakalı ve plakasız durumlardaki deneysel ve sayısal sonuçların sıra ortalama  $Nu$  sayısı değerleri için karşılaştırılması ( $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $Re=930$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )



Şekil 6.4. Plakalı ve plakasız durumlardaki deneysel ve sayısal sonuçların sıra ortalama  $T_s - T_{giriş}$  değerleri için karşılaştırılması ( $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $Re=930$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

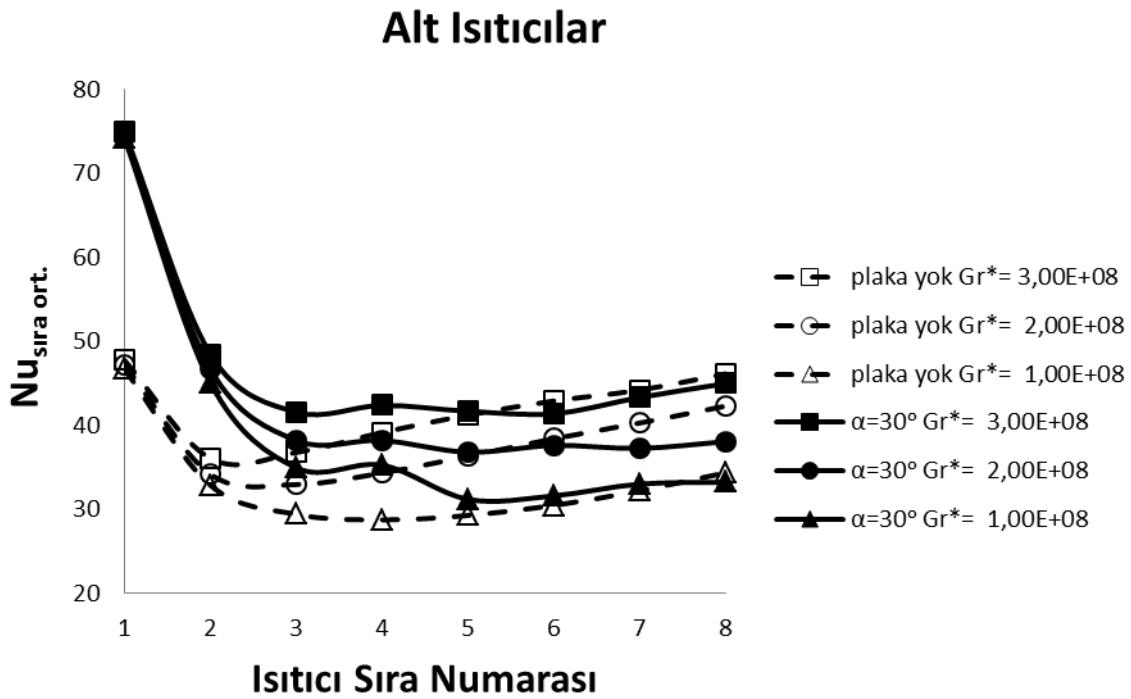
Yukarıda verilen grafiklerde görüldüğü gibi sıra ortalama Nu sayısı ve sıcaklık farkı açısından deneysel ve sayısal sonuçların çok iyi bir uyum içerisinde olduğu anlaşılmış ve çeşitli parametre değerleri için sayısal sonuçlar elde edilerek aşağıda sunulmuştur.

## 6.2. Isıtıcıların Kanal Alt ve Üst Yüzeylerinde Olması Koşulunda Plakalı ve Plakasız Durumlar için Sayısal Sonuçlar

Sayısal sonuçlar doğrultusunda elde edilen grafikler, farklı Re ve  $Gr^*$  sayılarında plaka açısının  $\alpha=30^\circ, 60^\circ, 0^\circ$  plakalar arası boşluk mesafesinin kanal yüksekliğine oranının  $L_p/H=3/20$  ve kanal yüksekliğinin kanal genişliğine oranının  $H/W=1/2$  olduğu plakalı ve plakasız durumlar için gerçekleştirilmiştir.

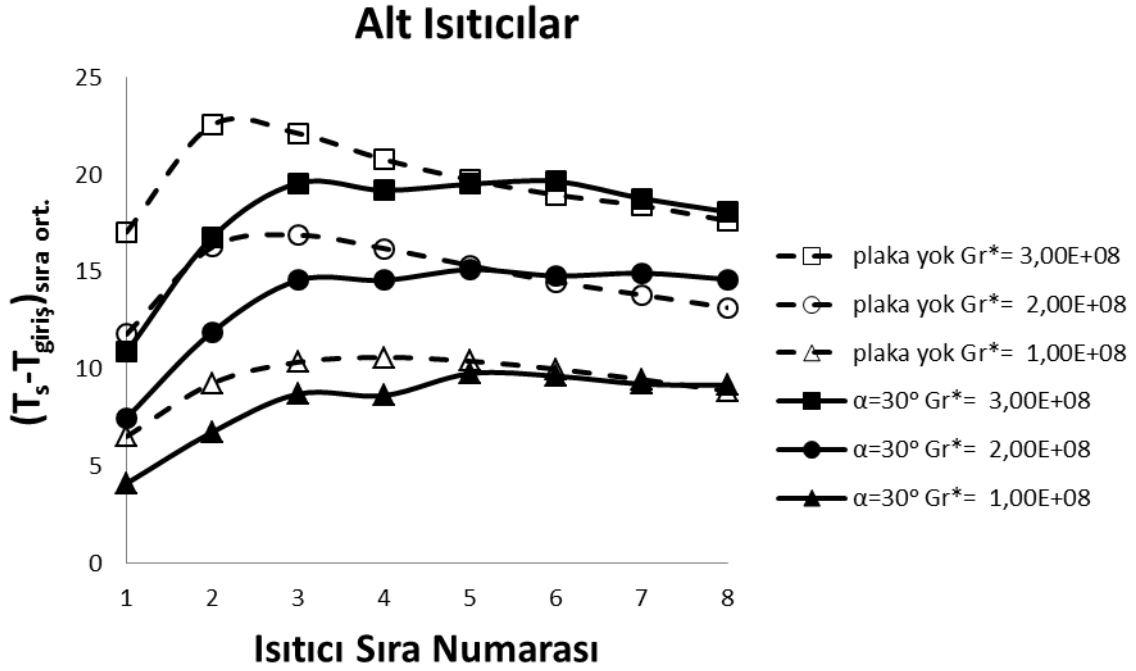
Aşağıdaki verilen Şekil 6.5-6.8'de  $Re=2000$ ,  $\alpha=30^\circ$  değerleri için farklı  $Gr^*$  sayılarında plakalı ve plakasız durumlar arasındaki sıra ortalama Nu sayısı açısından karşılaştırmalar verilmektedir. Plakalı ve plakasız durumlar kendi içerisinde değerlendirildiğinde deneysel sonuçlar kısmında da değerlendirildiği gibi  $Gr^*$  sayısındaki düşüş ile birlikte sıcaklık farkından kaynaklanan ikincil akışın etkisinin azalması sonucunda ısı transferi miktarı da düşmektedir.

Alt ısıtıcılar için (Şekil 6.5) kanal içerisinde plakanın bulunduğu ve bulunmadığı durumların her ikisinde de ısıtıcılardaki ısı transferi belirli bir ısıtıcı sırasına kadar azalarak devam etmiştir. Sonraki ısıtıcı sıralarında kaldırma kuvvetinin etkili olduğu ikincil akışın etkisi ile sıcaklıkların düşmesi sonucu ısı transferi son ısıtıcılara doğru artmaya başlamıştır. Plakalı ve plakasız durumlar birbiri ile karşılaştırıldığında ise alt ısıtıcılar için plaka kullanılması ile ilk 4 ısıtıcı sırasında sıra ortalama Nu sayısında artış görülmekte son 3 ısıtıcı sırası için ise ısı transferi miktarı  $Re=2000$  ve  $Re=1400$  değerlerinde düşmekte  $Re=930$  değeri için ise yaklaşık olarak aynı kalmaktadır.



Şekil 6.5. Alt ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama Nu sayısının  $Gr^*$  sayısına göre değişimi ( $Re=2000$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

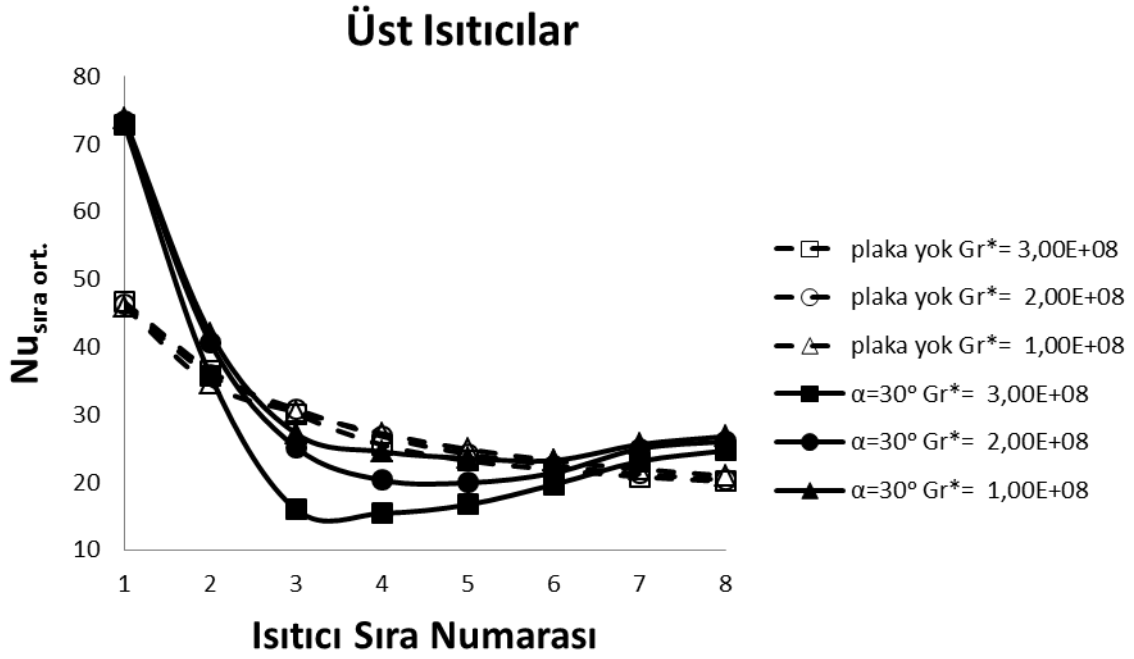
Şekil 6.6'da görüldüğü gibi tüm  $Gr^*$  sayılarında alt ısıtıcı sıcaklıkları belirli bir ısıtıcı sırasına kadar artış göstermiştir. Daha sonra doğal konveksiyonun etkisi ile düşmeye başlamıştır.  $Gr^*$  sayısının düşmesi sonucu doğal konveksiyonun etkisinin de azalması ile birlikte plakalı ve plakasız durumlar karşılaştırıldığında ilk 4 ısıtıcı sırası arasındaki sıcaklık farkları azalmıştır. Alt ısıtıcılar için  $30^\circ$  açılı plaka yerleştirilmesi durumunda belirli bir  $Re$  sayısı için yüksek ısı akışında ısı transfer artışının daha fazla olduğu görülmektedir.



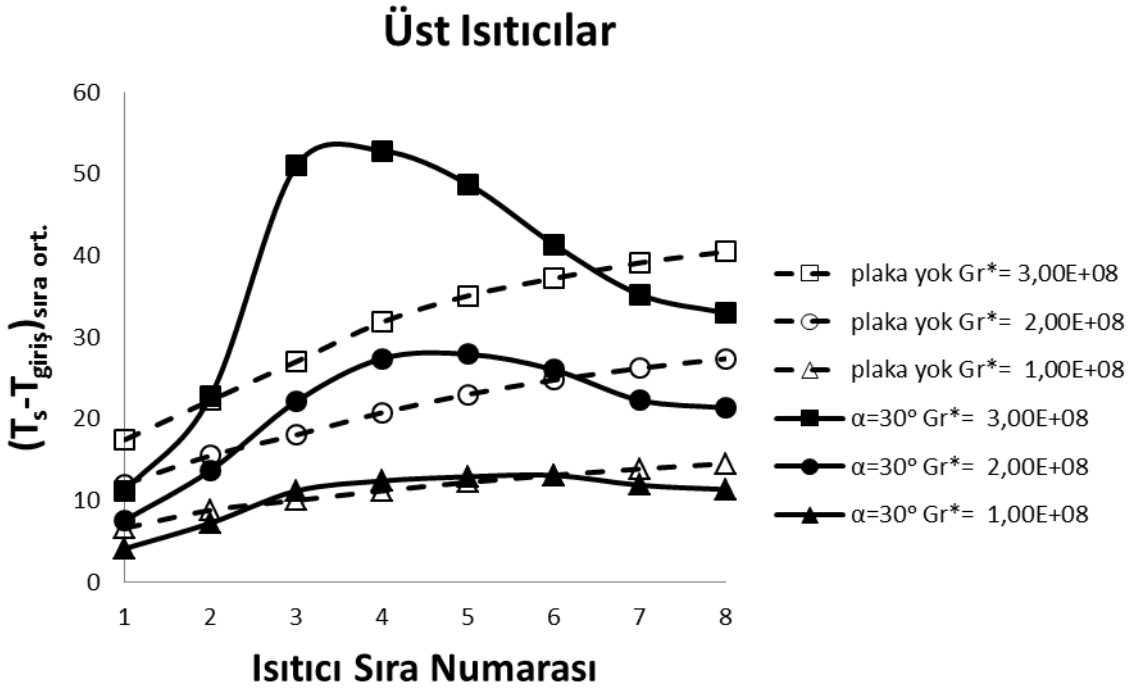
Şekil 6.6. Alt ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama  $T_s - T_{giriş}$  değerlerinin  $Gr^*$  sayısına göre değişimi ( $Re=2000$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

Üst ısıtıcı sıralarına bakıldığında ise (Şekil 6.7) plakasız durumda ısı transferi miktarının 1. ısıtıcı sırasından itibaren son ısıtıcı sırasına kadar düştüğü gözlemlenmektedir. Isı transferi miktarı  $Gr^*$  sayısının değişiminden az miktarda etkilenmiştir.  $30^\circ$  açı ile plaka yerleştirilmesi durumunda ise plakasız duruma göre ilk iki ısıtıcı ve son iki ısıtıcı sırasında  $Gr^*$  sayısına bağlı olarak ısı transferi miktarında artış görülmektedir. 3-6. ısıtıcı sıralarında ise plakanın olmadığı duruma göre ısı transferi miktarında büyük oranda azalma meydana gelmiştir. Plakalı durum için ise Şekil 6.7’de görülüşü gibi  $Gr^*$  sayısının azalması ile birlikte ısı transferi miktarında artış görülmektedir. Sonuç olarak üst ısıtıcılar için plaka yerleşiminin düşük ısı akıllarında daha uygun olduğu anlaşılmaktadır. Yüksek ısı akıllarında ise plakasız duruma göre ısıtıcıların büyük çoğunluğunda ısı transferi kayıplarının yüksek olması nedeni ile plaka kullanımı uygun olmamaktadır.

Şekil 6.8 incelendiğinde ise plakanın olmadığı durumda üst ısıtıcı sıralarında sıcaklıkların sürekli arttıkları gözlemlenmektedir. Bu durum ısıtıcı yüzeyindeki ısınan havanın doğal konveksiyonun etkisi ile yükselerek ısıtıcılar arasına girmesi ve sıcaklığı tekrar artırmasından kaynaklanmaktadır. Plaka yerleştirilmesi durumunda ise ısı akısının artışı ile birlikte ilk ve son ısıtıcı sıraları dışında diğer ısıtıcı sıralarındaki sıcaklık değerleri plakasız



Şekil 6.7. Üst ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama Nu sayısının  $Gr^*$  sayısına göre değişimi ( $Re=2000$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )



Şekil 6.8. Üst ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama  $T_s - T_{giriş}$  değerlerinin  $Gr^*$  sayısına göre değişimi ( $Re=2000$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

durumla kıyaslandığında artış göstermiş ve sistemi olumsuz yönde etkilemiştir. Şekil 6.8' deki ısıtıcı sıcaklıklarına bakılarak üst ısıtıcılarda plaka yerleşiminin düşük ısı akılarında uygun olacağı sonucu çıkmaktadır. Bu nedenle belirli bir  $Re$  sayısı ve plaka açısı değerinde

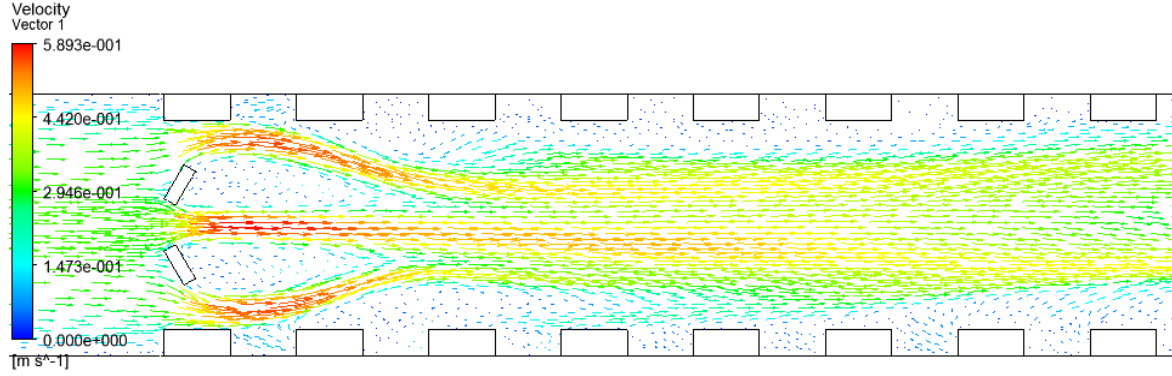
üst ısıtıcı sıraları için her bir ısıtıcının istenilen soğutma koşullarını sağlaması gerektiği göz önünde bulundurulduğunda düşük ısı akılarında plaka yerleşiminin daha uygun olduğu görülmektedir.

Yukarıda verilen grafiklerdeki sonuçların ortaya çıkma sebebinin anlaşılabilmesi için Şekil 6.9-6.12'de plakalı ve plakasız durumlar için verilen hız vektörleri ve sıcaklık kontörlerinin incelenmesi gerekmektedir. Bu grafiklerde  $Gr^*$  sayısındaki değişime bağlı olarak doğal konveksiyonun etkisinin daha rahat gözlemlenebilmesi için  $Gr^*$  sayısının  $Gr^*=3 \times 10^8$  ve  $Gr^*=1 \times 10^8$  olduğu durumlar için hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri verilmiştir.

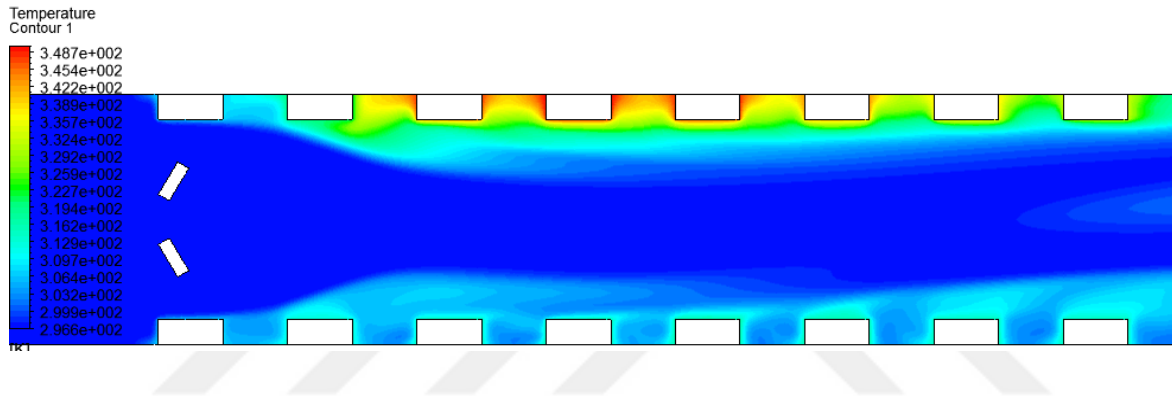
Şekil 6.9'da verilen hız vektörleri incelendiğinde havanın ilk ısıtıcı sırası ile plaka arasından ve plakalar arasından geçerken hız kazandığı görülmektedir. Diğer yandan hava, plaka ile ısıtıcı arasından geçerken alt ve üst ısıtıcı yüzeylerine çarparak kanal orta kısmına doğru yönlenebilir. Bu durum hava akışının alt ve üst yüzeydeki 3.-6. ısıtıcı sıralarına yeterince ulaşamamasına sebep olmakta ve ısıtıcı sıcaklıklarını yükseltmektedir (Şekil 6.9c). Hava akışının 3.-6. ısıtıcı sıralarına yeterince ulaşamamasına rağmen alt ısıtıcılarda meydana gelen doğal konveksiyonun soğumaya katkı sağladığı görülmektedir. Üst yüzeydeki ısıtıcılarda ise doğal konveksiyon etkisi ile yükselen hava ısıtıcılar arasında sıkıştığı için ısıtıcı sıcaklıklarını daha da artırmıştır. Son ısıtıcı sıralarına doğru yukarı ve aşağı doğru yönlenen hava akımı girişteki üniform haline yaklaşarak kanalı terk etmektedir.

Şekil 6.10'da ise plakasız duruma ait hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri verilmiştir. Hız vektörleri incelendiğinde plakalı kullanılması ile gerçekleşen hava akımının ısıtıcı yüzeylerine çarparak yön değiştirmesi gibi bir durum söz konusu olmadığından hava akışı alt ve üst ısıtıcılara paralel şekilde düz bir hat boyunca ilerlemiştir. Bu durum üst ısıtıcılarda plaka kullanılması durumuna göre daha iyi soğutma koşullarının oluşmasını sağlamaktadır. Alt ısıtıcılarda ise son ısıtıcı sıralarına doğru doğal konveksiyonun etkisinin artması ısınan havanın yükselerek kanalı terk etmesi sonucunda ısıtıcı sıcaklıklarını düşürmüştür.

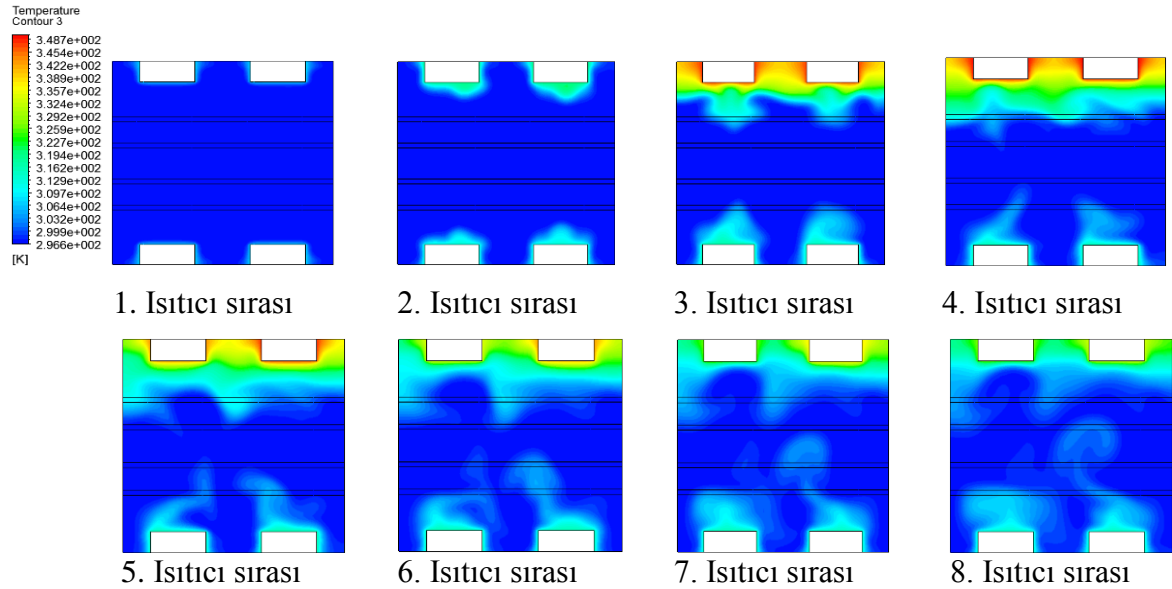
a) y-z düzlemi hız vektörleri  $x=25\text{mm}$



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri  $x=25\text{mm}$

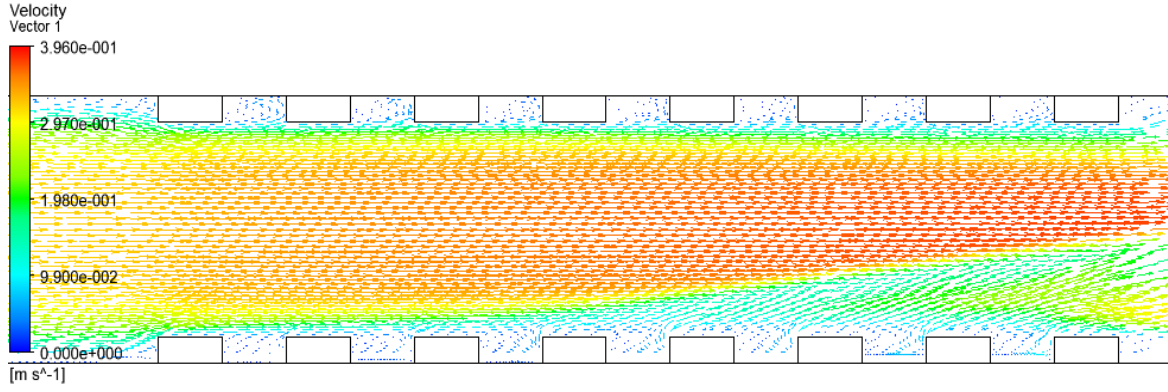


c) x-y düzlemi sıcaklık kontörleri

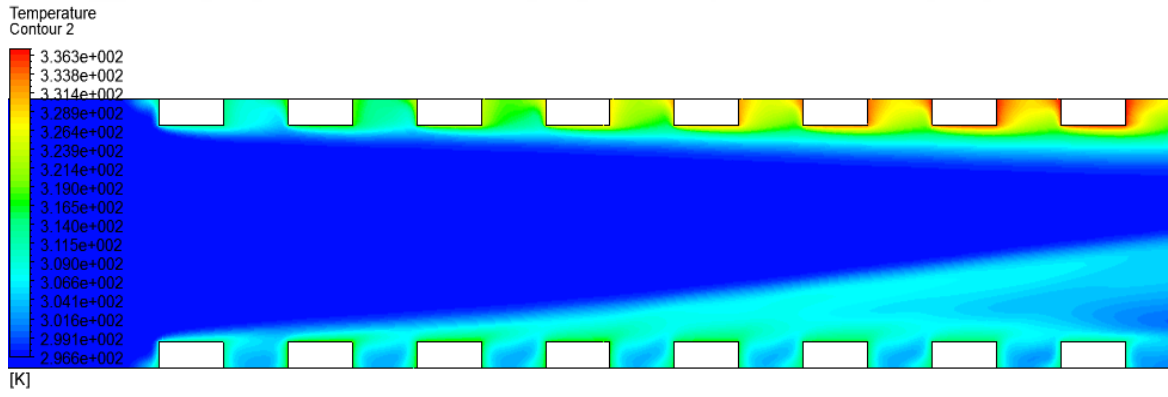


Şekil 6.9. Plakalı durumdaki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde,  $Re=2000$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

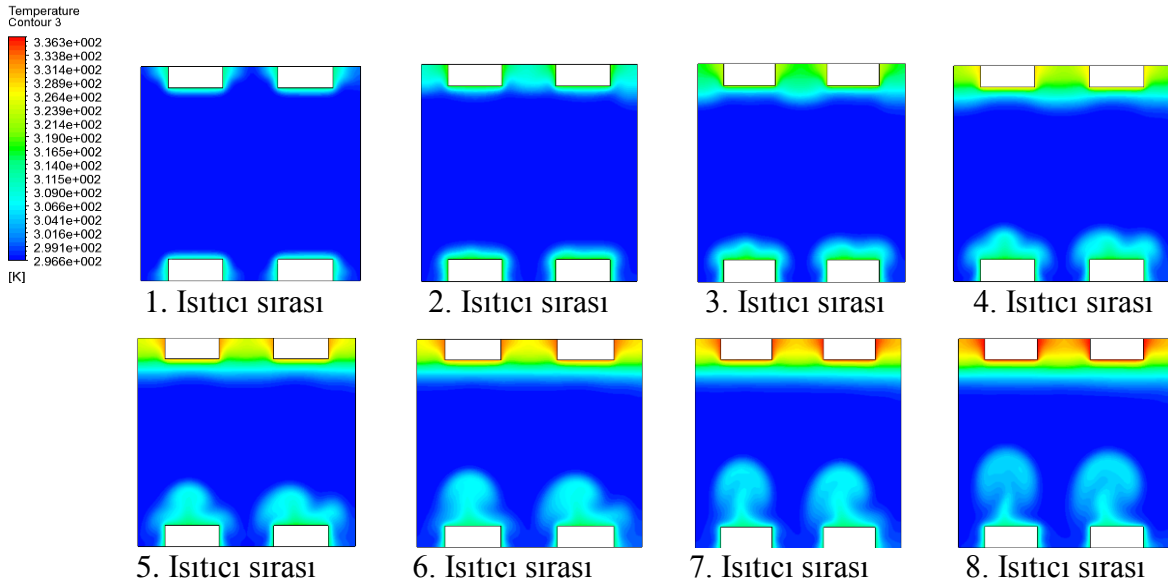
a) y-z düzlemi hız vektörleri  $x=25\text{mm}$



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri  $x=25\text{mm}$



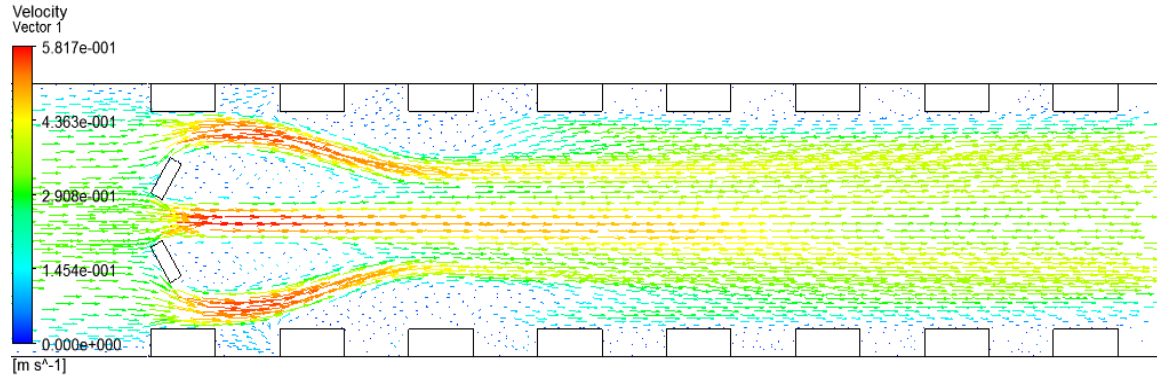
c) x-y düzlemi sıcaklık kontörleri



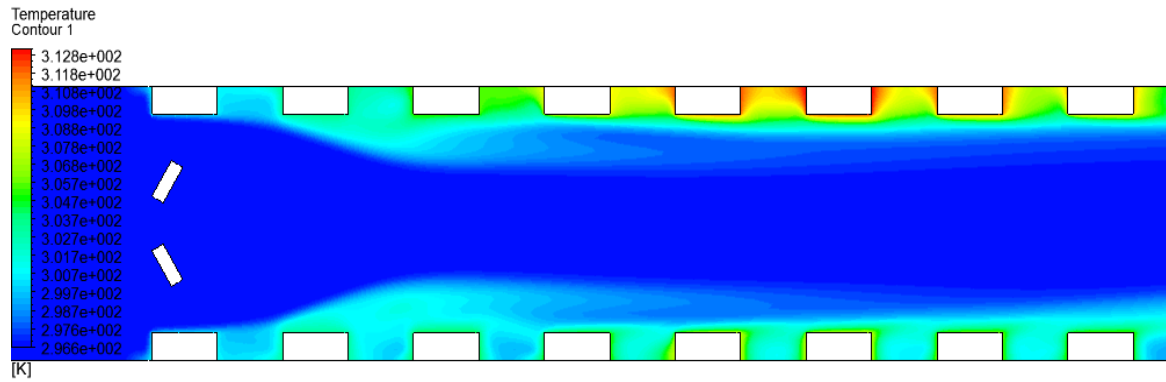
Şekil 6.10. Plakasız durumdaki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde,  $Re=2000$ ,  $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $H/W=1/2$ )



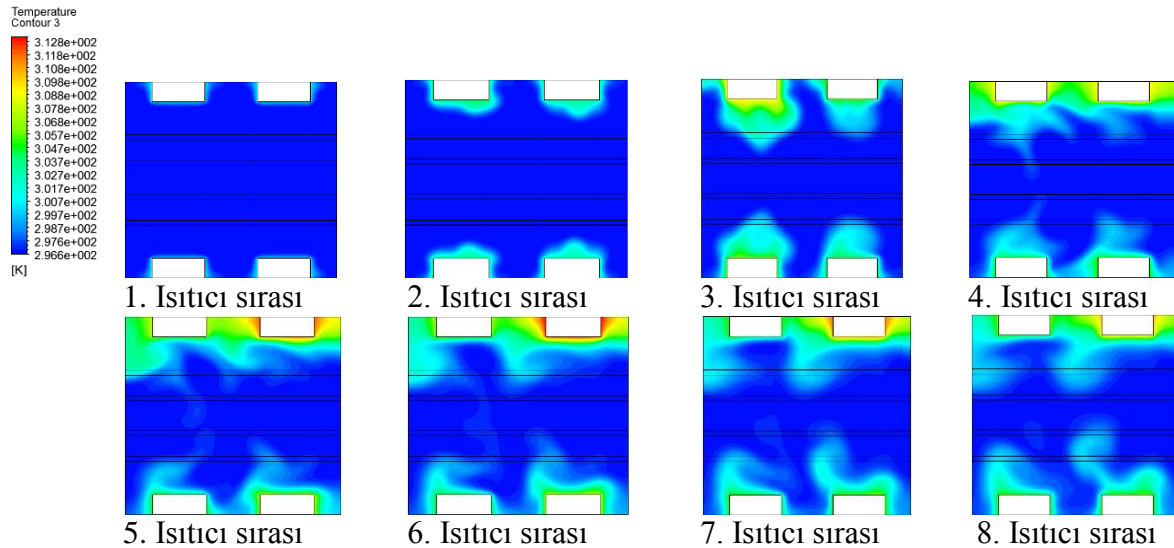
a) y-z düzlemi hız vektörleri  $x=25\text{mm}$



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri  $x=25\text{mm}$

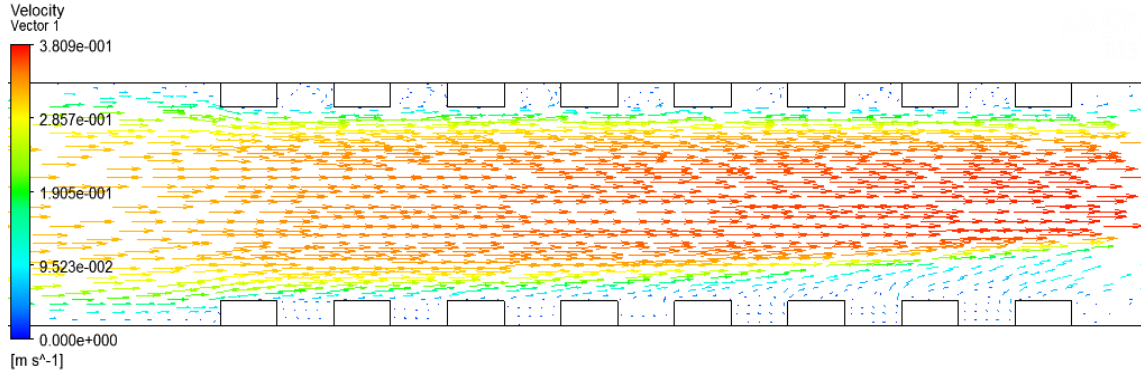


c) x-y düzlemi sıcaklık kontörleri

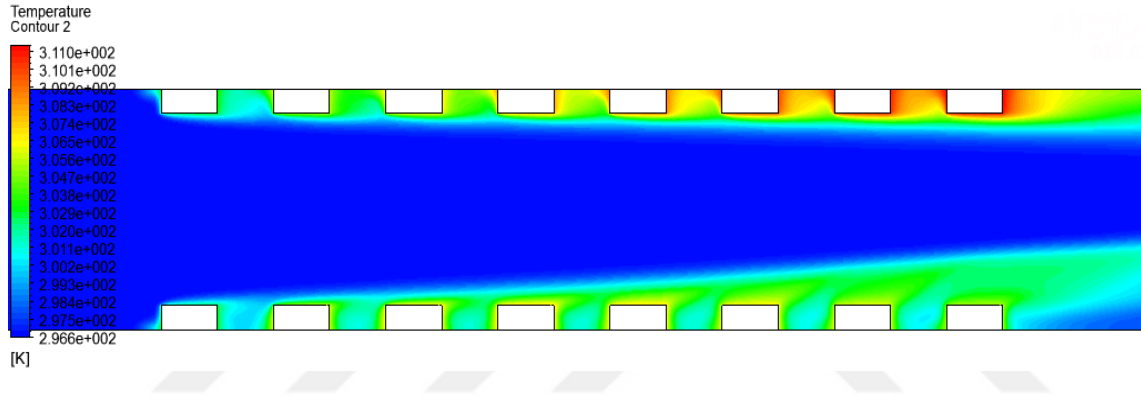


Şekil 6.11. Plakalı durumdaki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde,  $Re=2000$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $Gr^*=1 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

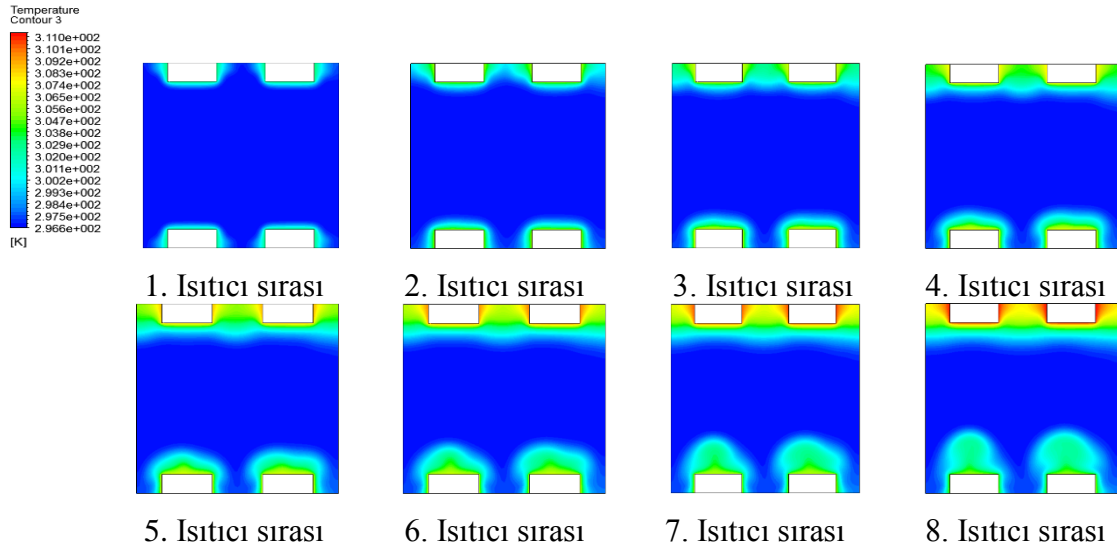
a) y-z düzlemi hız vektörleri  $x=25\text{mm}$



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri  $x=25\text{mm}$



c) x-y düzlemi sıcaklık kontörleri

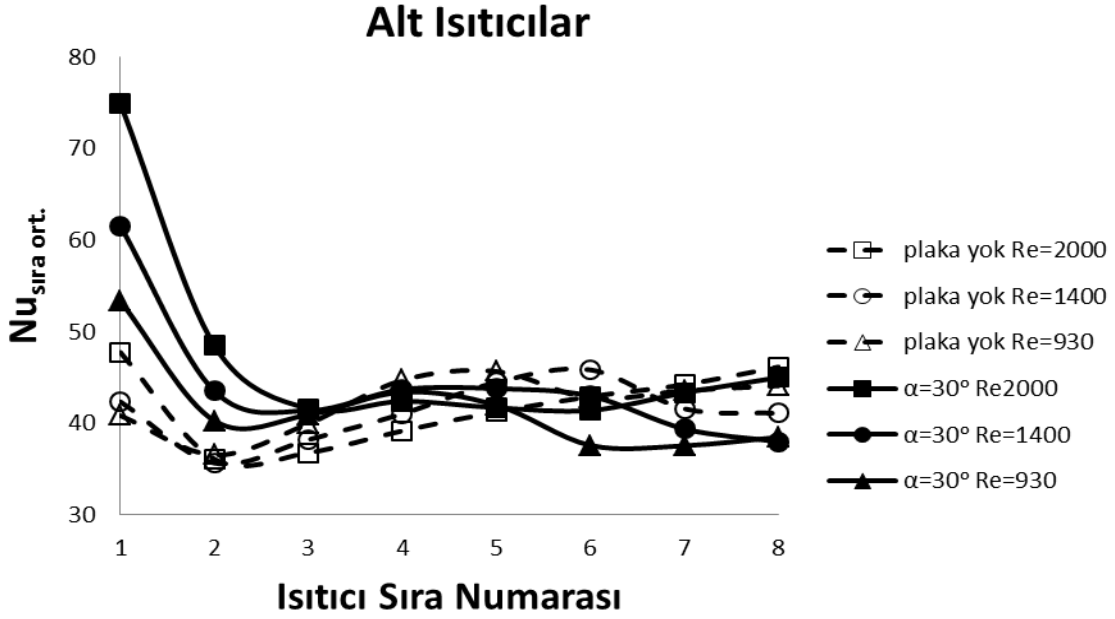


Şekil 6.12. Plakasız durumdaki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde,  $Re=2000$ ,  $Gr^*=1 \times 10^8$ ,  $H/W=1/2$ )

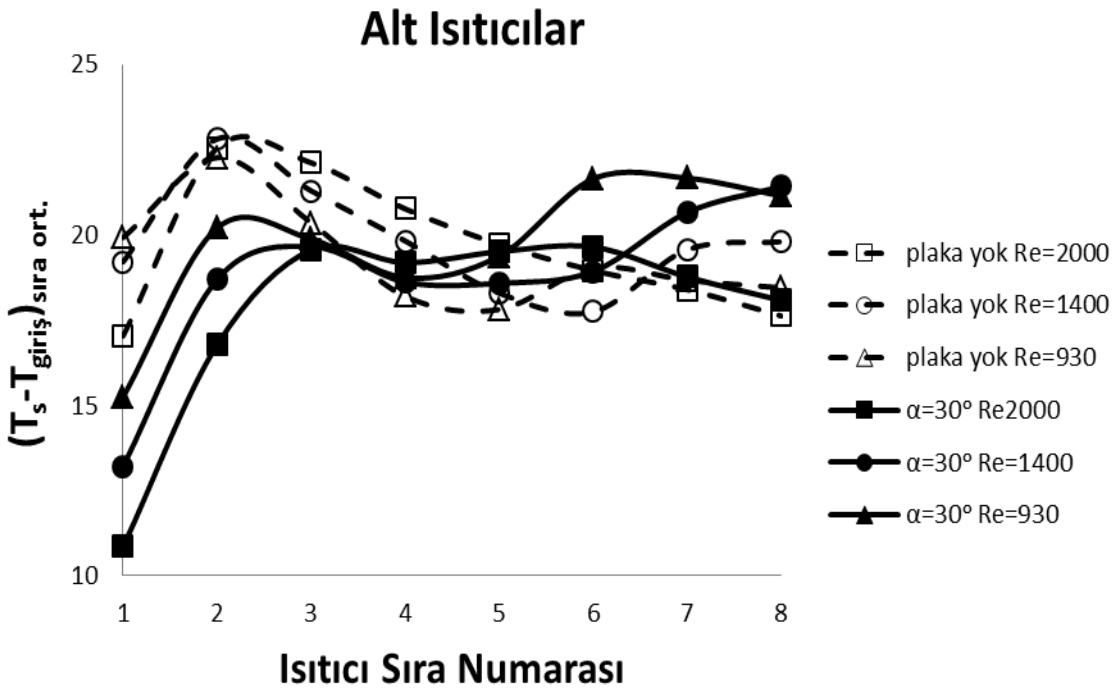
$Gr^*$  sayısının  $Gr^*=3 \times 10^8$  değerinde plakalı ve plakasız koşullarda  $Ri$  sayısı sırası ile  $Ri=2,3$  ve  $Ri=2$  değerini almakta ve akışın karışık konveksiyon şartlarına yakın bir koşulda gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 6.11 ve 6.12’de  $Gr^*$  sayısının düşmesi ile birlikte ( $Gr^*=1 \times 10^8$ )  $Ri$  sayısı plakalı ve plakasız durumlar için  $Ri=0,9$  ile  $Ri=0,7$  değerini almış ve akış zorlanmış konveksiyonun daha baskın olduğu bir hale dönüşmüştür. Sıcaklık kontörleri ve hız vektörlerine bakıldığında zorlanmış konveksiyon etkisinin artması plakalı ve plakasız durumların her ikisi içinde alt ısıtıcılardaki doğal konveksiyonun etkisinin azalmasına sebep olmuştur. Üst ısıtıcılarda ise ısınarak yükselip ısıtıcılar arasına sıkışan hava miktarının azalmasına bağlı olarak ısıtıcı sıcaklıkları düşmüştür. Böylece plakalı ve plakasız durumlarda üst ısıtıcılar bakımından oluşan ısı transferi ve sıcaklık farkları azalmıştır.

Şekil 6.13’de farklı  $Re$  sayıları için plakalı ve plakasız durumdaki sıra ortalama  $Nu$  sayısı dağılımları görülmektedir.  $Re=2000$  için ilk 4 ısıtıcıdaki ısı transferi miktarının plakalı durumda daha iyi olduğu ve diğer ısıtıcılarda ısı transferi miktarının plakasız duruma kıyasla bir miktar azaldığı anlaşılmaktadır.  $Re=1400$  ve  $Re=930$  durumları için ise 5. ısıtıcı sırasından sonra sıcaklıkların yükselerek ısı transferinin azalması nedeni ile plaka kullanımının yalnızca ilk dört ısıtıcı sırası için uygun olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle alt ısıtıcılar için yüksek hava hızlarında plaka yerleşiminin daha uygun olduğu sonucu çıkmaktadır.

Şekil 6.14’de ise, Şekil 6.13’de verilen sıra ortalama  $Nu$  sayısı dağılımına paralel olarak oluşan farklı  $Re$  sayılarındaki alt ısıtıcı sıcaklıkları verilmektedir. Plakasız durumda tüm  $Re$  sayıları için 3. ısıtıcı sırasından sonra doğal konveksiyonun etkisi ile ısıtıcı sıcaklıkları düşmüştür.  $Re$  sayısının  $Re=2000$  olması koşulunda ısıtıcı sıcaklıkları doğal konveksiyonun etkisi ile son ısıtıcı sırasına kadar düşmeye devam etmiştir.  $Re=1400$  ve  $Re=930$  değerlerinde ise sırası ile 6. ve 5. ısıtıcı sıralarından sonra sıcaklıklar tekrar yükselmiştir. Plaka yerleşimi sonucunda ise tüm  $Re$  sayısı değerlerinde ilk dört ısıtıcı sırasında ısıtıcı sıcaklıklarının plakasız duruma göre daha düşük olduğu görülmektedir. Fakat son dört ısıtıcı sırasındaki sıcaklık değerleri  $Re$  sayısına bağlı olarak değişim göstermiştir.  $Re=2000$  değerinde plakalı ve plakasız durumdaki son dört ısıtıcı sırası sıcaklıkları yaklaşık olarak birbiri ile aynı iken  $Re$  sayısının azalması ile birlikte 4. ısıtıcı sırasından itibaren ısıtıcı sıcaklıkları plakasız duruma göre artış göstermiştir.



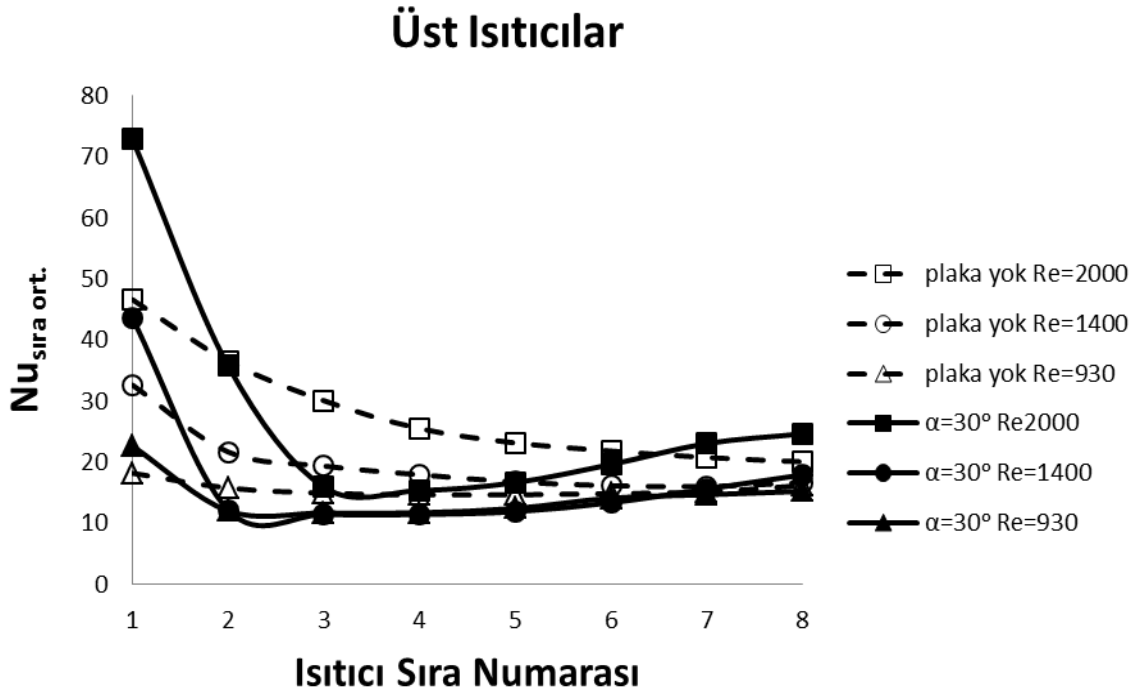
Şekil 6.13. Alt ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ( $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )



Şekil 6.14. Alt ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama  $T_s - T_{giriş}$  değerlerinin Re sayısına göre değişimi ( $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

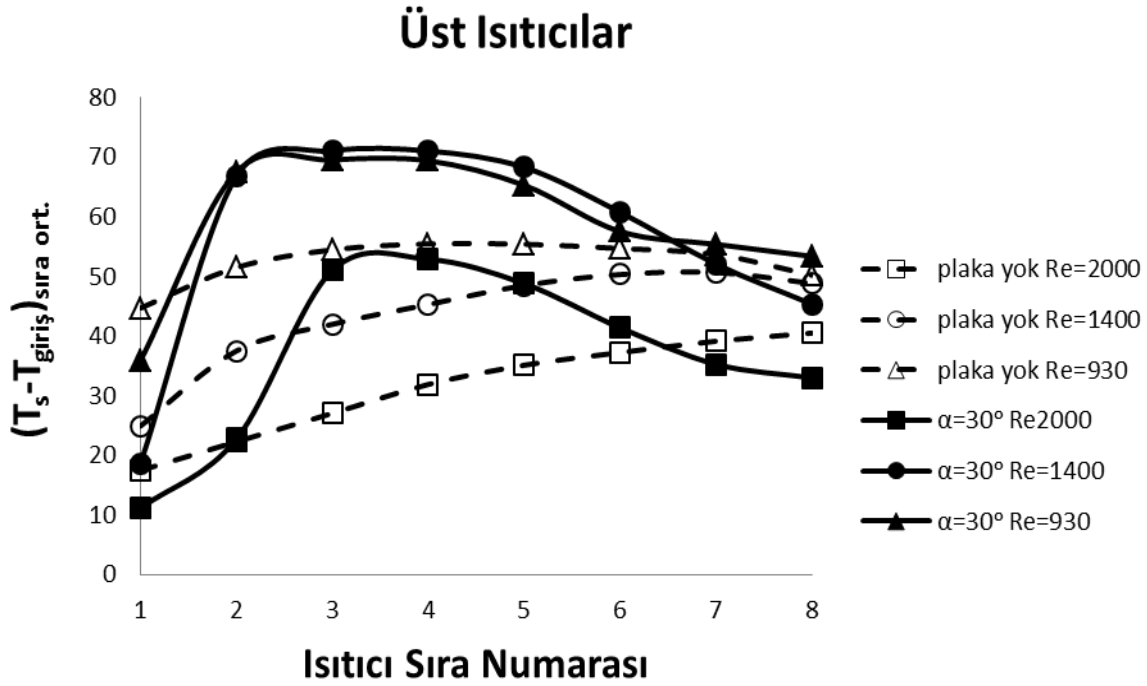
Re sayısı değişiminin plakalı ve plakasız durumlarda üst ısıtıcılardaki Nu sayısı dağılımına etkisi incelendiğinde ise (Şekil 6.15) yüksek Re sayılarında da (Re=2000 ve Re=1400)

yalnızca ilk ısıtıcı sırasında ve son ısıtıcı sırasında oluşan ısı transferi miktarının plaka yerleşiminin sonucunda daha iyi hale geldiği görülmektedir. Re sayısının düşmesi ile birlikte ( $Re=930$ ) plakalı durumda son iki ısıtıcı sırasındaki ısı transferi miktarları plakanın bulunmadığı durumdaki değerlerle aynı kalmıştır. Diğer ısıtıcı sıralarındaki ısı transferi miktarları ise plakasız duruma göre tüm Re sayısı değerleri için azalmıştır.



Şekil 6.15. Üst ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ( $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

Şekil 6.16'ya bakıldığında ilk ısıtıcı sırası ve son iki ısıtıcı sırası haricindeki ısıtıcı sıcaklıkları tüm Re sayıları için plakasız duruma göre artış göstermiştir. Fakat  $Re=930$  değeri için sıcaklık dağılımı incelendiğinde son iki ısıtıcı sırasının sıcaklıkları da plakasız duruma göre artmıştır. Re sayısının  $Re=1400$  değerini alması ile birlikte ikinci ısıtıcı sırasından başlayarak yedinci ısıtıcı sırasına kadar plakalı ve plakasız durum arasındaki sıcaklık farkının arttığı görülmektedir. Yalnızca ilk ve son ısıtıcı sıralarında sıcaklıklar plakasız duruma göre azalmıştır. Re sayısının  $Re=930$  değerinde ise plakalı ve plakasız durum arasındaki sıcaklık farkı  $Re=1400$  değerine göre azalmış fakat yalnız ilk ısıtıcı sırası için plaka kullanımı ile ısıtıcı sıcaklıklarında düşme meydana gelmiştir.

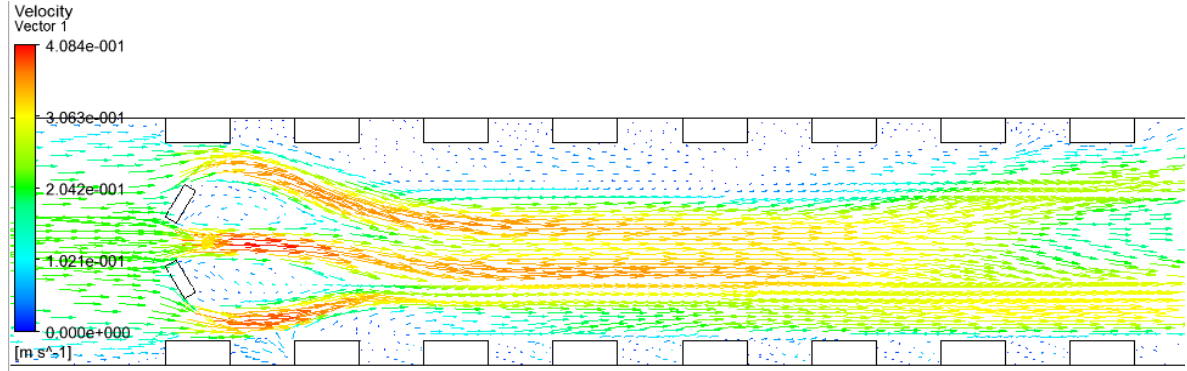


Şekil 6.16. Üst ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama  $T_s - T_{giriş}$  değerlerinin Re sayısına göre değişimi ( $Gr^* = 3 \times 10^8$ ,  $L_p/H = 3/20$ ,  $H/W = 1/2$ )

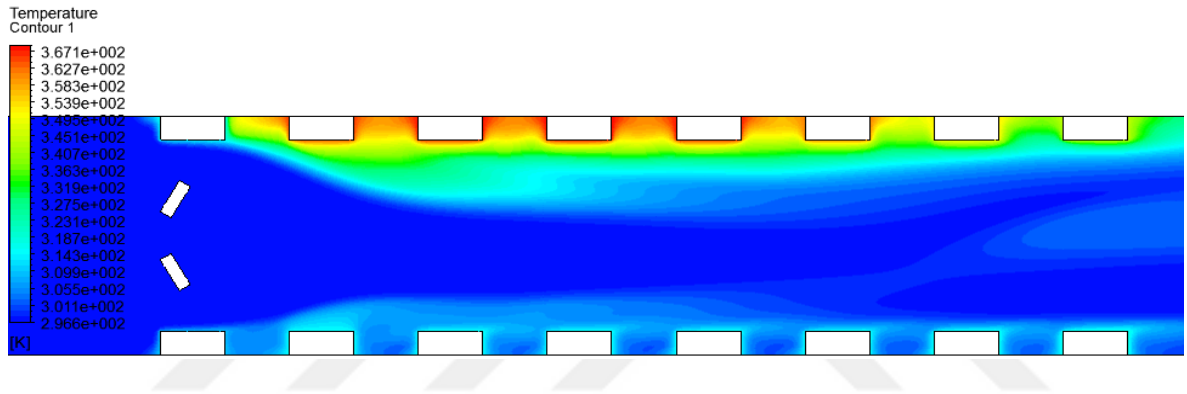
Belirli bir  $Gr^*$  sayısı ve plaka açısı değerinde Re sayısının değişimine bağlı olarak oluşan hız vektörleri, sıcaklık kontörleri ise Şekil 6.17 ve 6.19'da görülmektedir. Plakalı durum göz önüne alındığında Re sayısının düşmesi ile birlikte hız vektörlerinden de anlaşılacağı gibi plaka ile ısıtıcı arasından geçen hava birinci ısıtıcı sırasına çarparak özellikle üst ısıtıcılarda daha fazla kanal ortasına doğru yönelmiştir. Bu durum üst yüzeydeki 2. ısıtıcı sırasından başlayarak ısıtıcı sıcaklıklarının plakasız durumla kıyaslandığında büyük oranda artmasına sebep olmuştur. Alt ısıtıcılarda ise 5. ısıtıcı sırasından sonraki ısıtıcılarda doğal konveksiyon etkisinin azalması ile birlikte plakasız duruma göre ısı transferinde düşme ve ısıtıcı sıcaklıklarında artma meydana gelmiştir.

Plaka kullanılmaması durumunda belirli bir ısı akısı için Re sayısının değişimine bağlı olarak oluşan hız vektörleri, sıcaklık kontörleri de Şekil 6.18 ve 6.20'de verilmiştir. Re sayısının düşmesi ile birlikte akış doğal konveksiyonun ağırlıklı olduğu duruma geçmiştir. Hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri incelendiğinde alt ısıtıcılarda ısınarak sıcaklık farkı nedeni ile yükselen hava hareketi açıkça görülmektedir. Bu durum alt ısıtıcılar için plakasız durumda son ısıtıcı sıralarındaki ısı transferi artışı ve sıcaklık düşüşünün plakalı duruma göre daha iyi olmasını sağlamıştır.

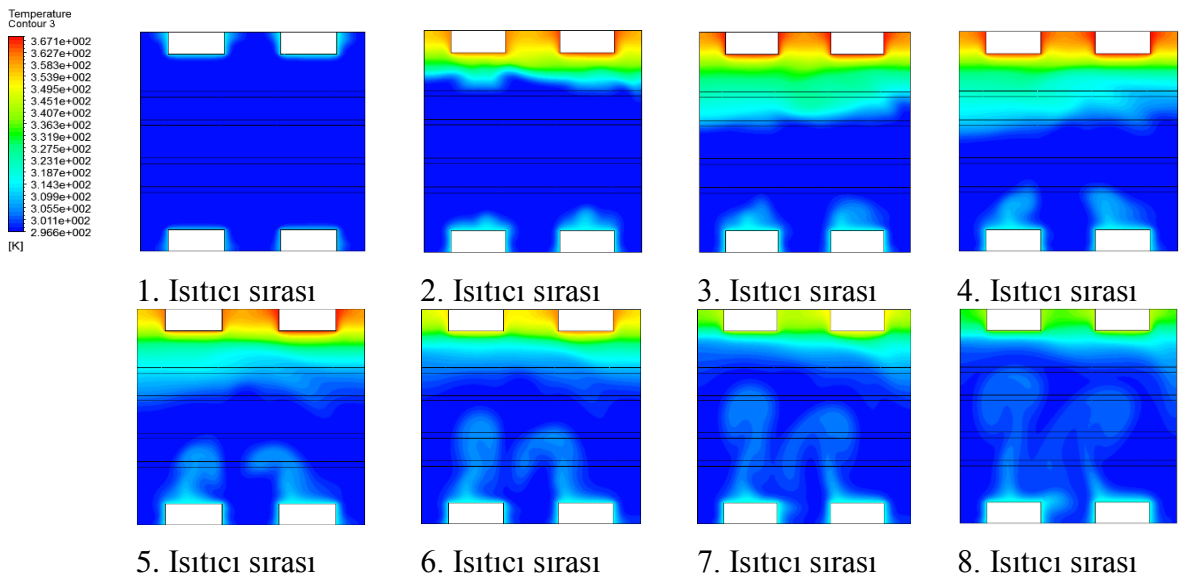
a) y-z düzlemi hız vektörleri  $x=25\text{mm}$



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri  $x=25\text{mm}$

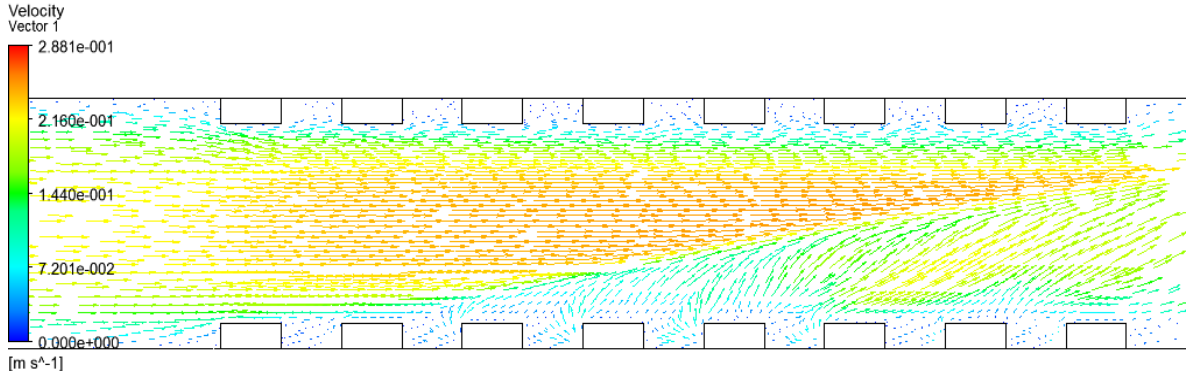


c) x-y düzlemi sıcaklık kontörleri

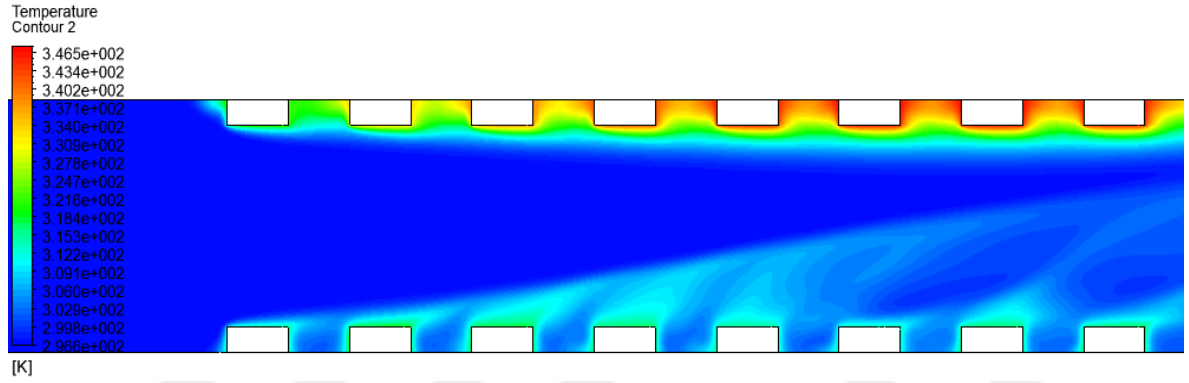


Şekil 6.17. Plakalı durumdaki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde,  $Re=1400$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

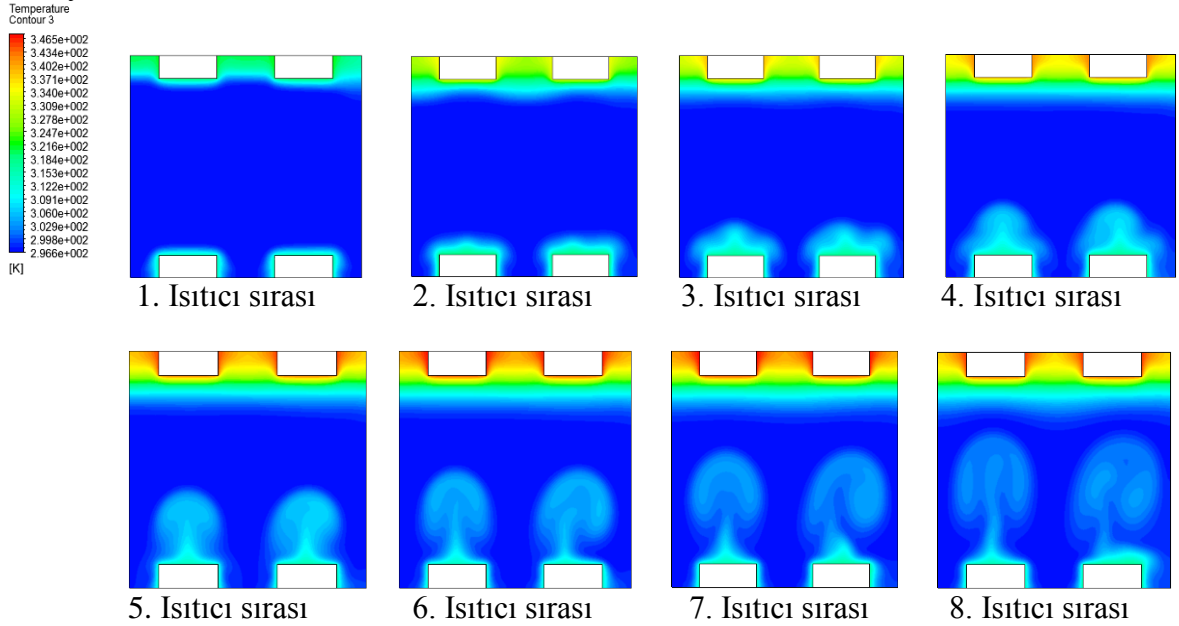
a) y-z düzlemi hız vektörleri  $x=25\text{mm}$



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri  $x=25\text{mm}$



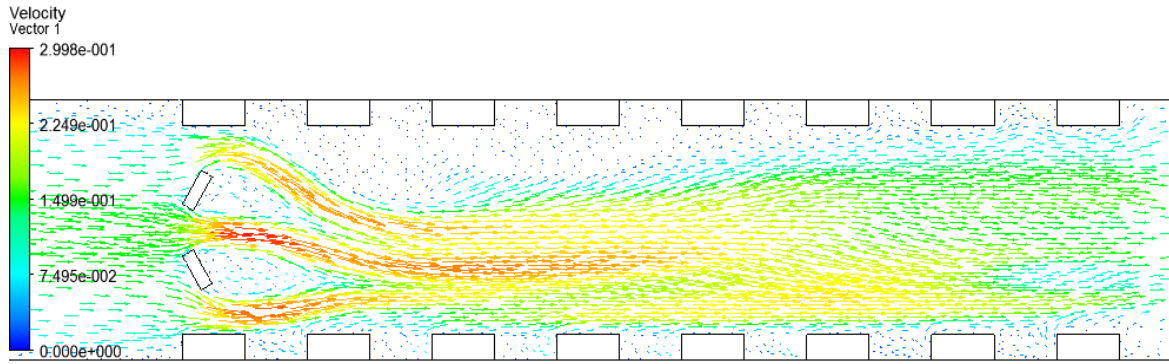
c) x-y düzlemi sıcaklık kontörleri



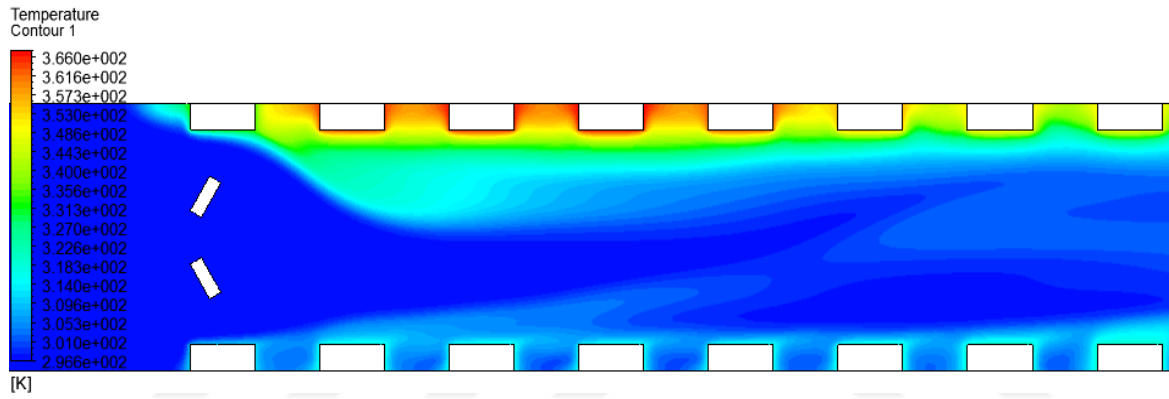
Şekil 6.18. Plakasız durumdaki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde,  $Re=1400$ ,  $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $H/W=1/2$ )



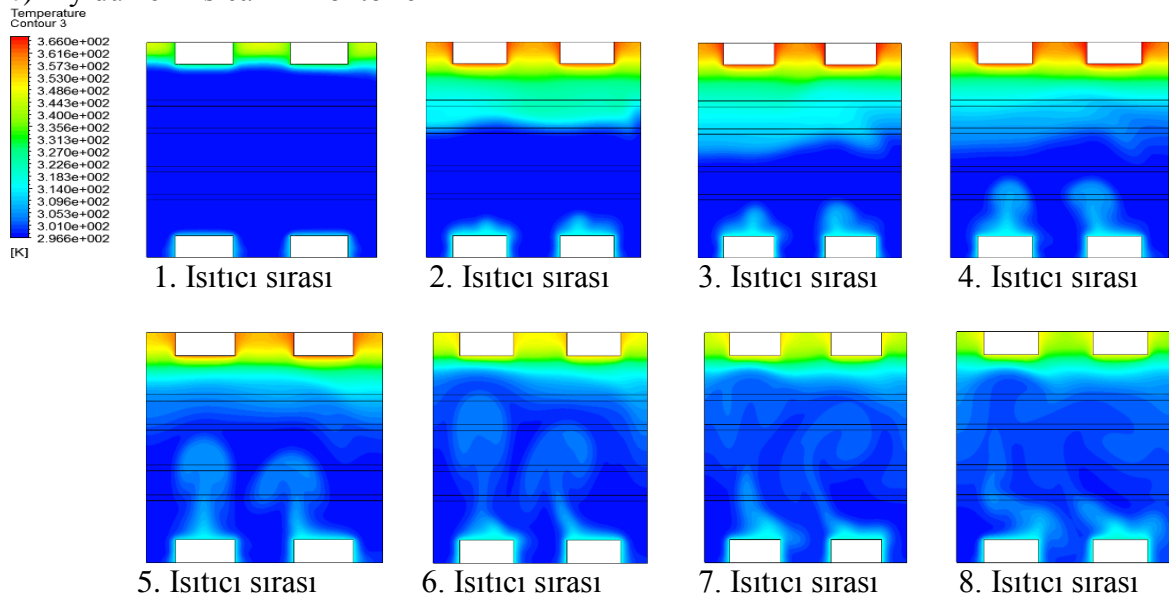
a) y-z düzlemi hız vektörleri  $x=25\text{mm}$



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri  $x=25\text{mm}$

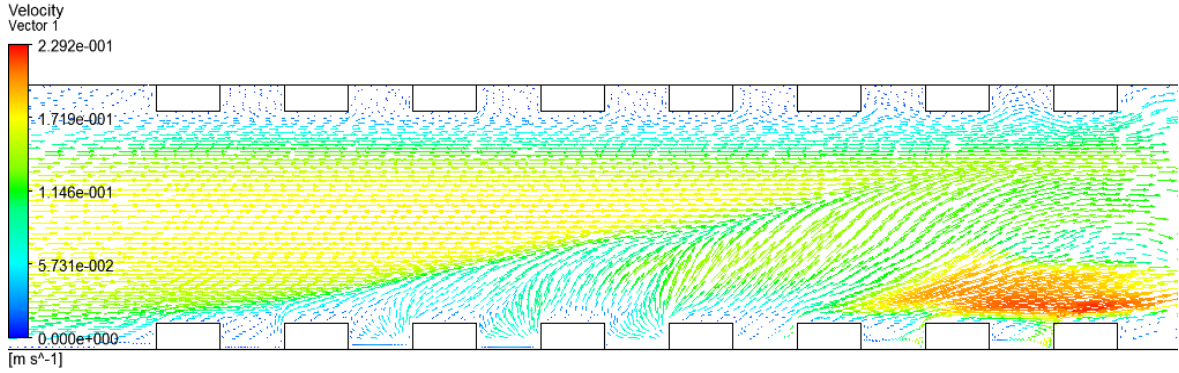


c) x-y düzlemi sıcaklık kontörleri

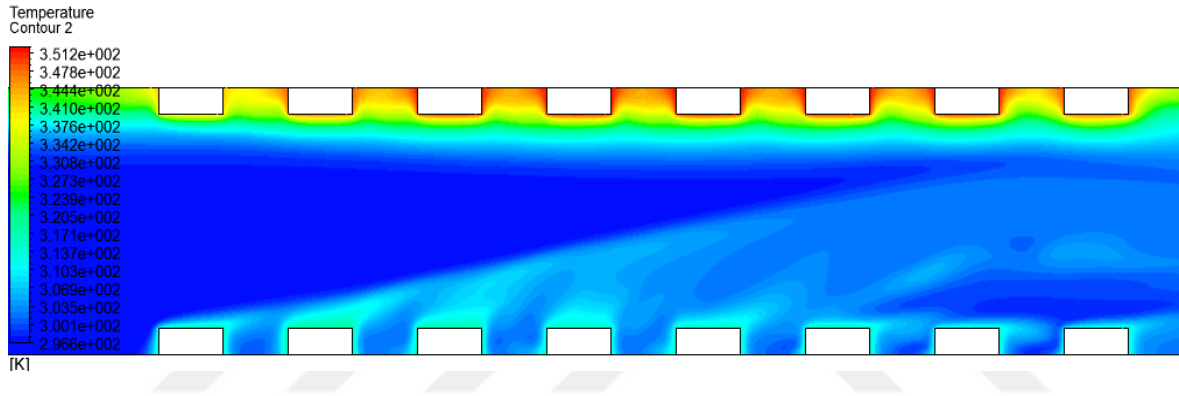


Şekil 6.19. Plakalı durumdaki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde,  $Re=930$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

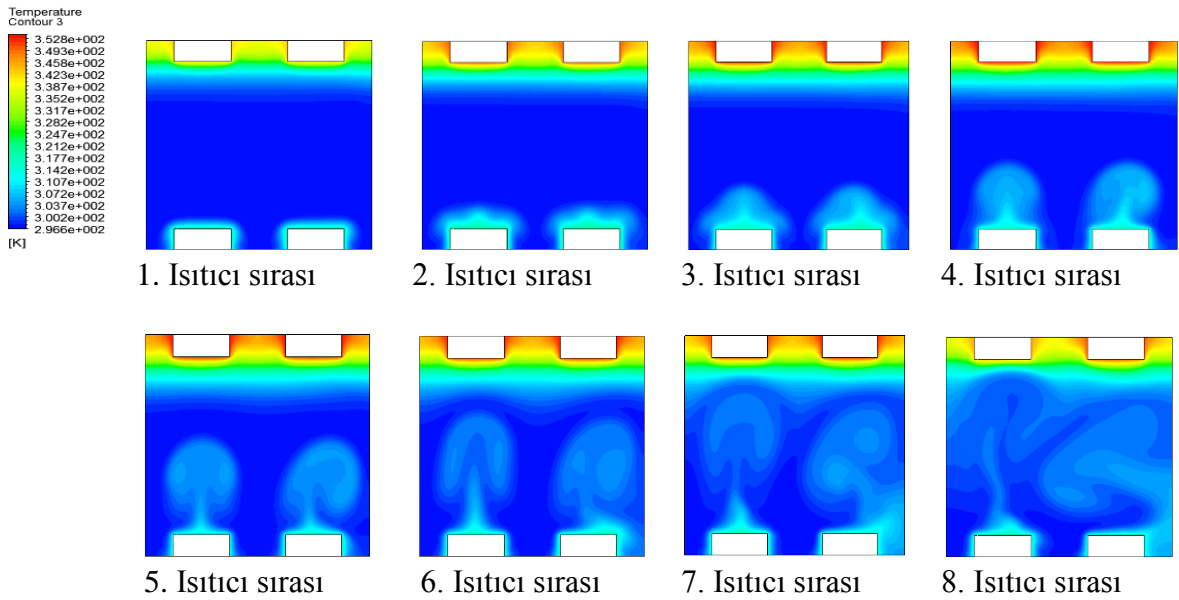
a) y-z düzlemi hız vektörleri  $x=25$  mm



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri  $x=25$  mm



c) x-y düzlemi sıcaklık kontörleri

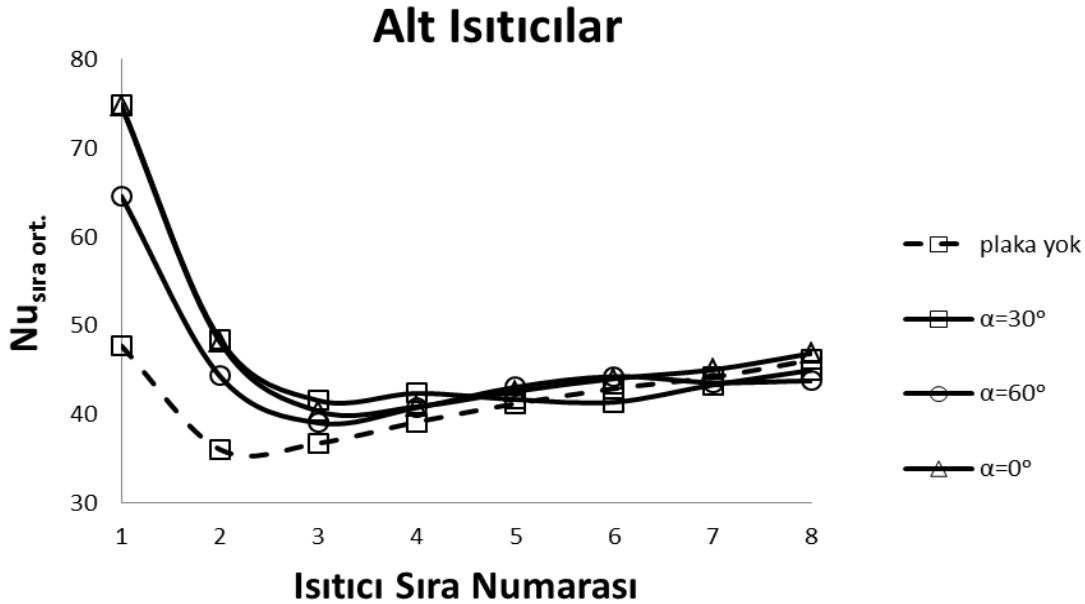


Şekil 6.20. Plakasız durumdaki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde,  $Re=930$ ,  $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $H/W=1/2$ )

Plakasız durum için üst ısıtıcılar göz önüne alındığında ise Re sayısının azalması ile doğal konveksiyonun etkisi baskın hale gelmiş ve yükselerek ısıtıcı bloklar arasına sıkışan hava miktarı arttığından ısıtıcı sıcaklıklarında da artış meydana gelmiştir (Şekil 6.18c ve 6.20c).

Farklı plaka açılarının sıra ortalama Nu sayısı dağılımı ve ısıtıcı sıcaklıkları üzerindeki etkisinin incelenmesi için yapılan sayısal çözümleme sonucunda elde edilen veriler Şekil 6.21-6.24'de görülmektedir.

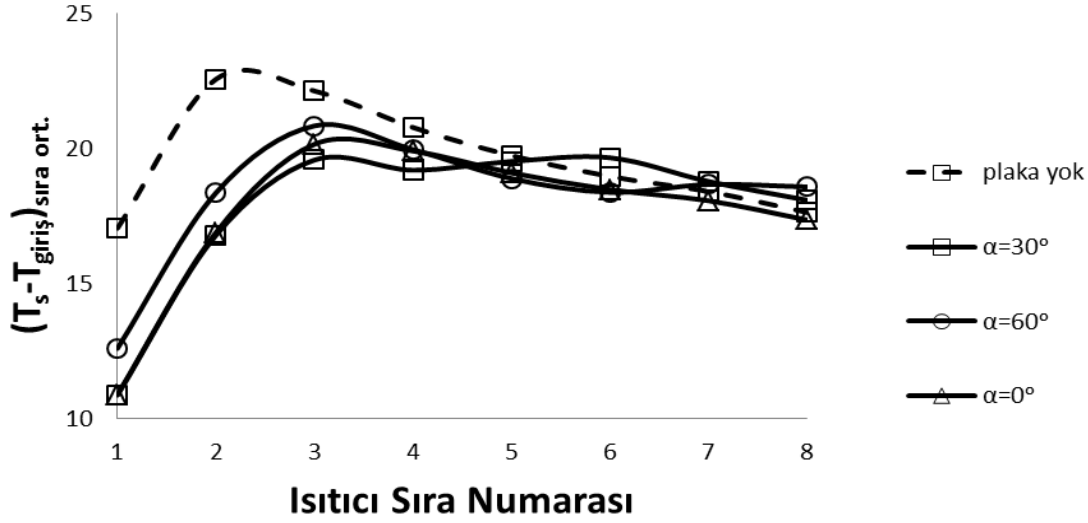
Alt ısıtıcılar için Nu sayısı dağılımına bakıldığında (Şekil 6.21)  $\alpha=30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $0^\circ$  plaka açılarında ısı transferi miktarının 5. ısıtıcı sırasına kadar plakasız duruma göre artış gösterdiği sonraki ısıtıcı sıralarında ise ısı transferi değerlerinde çok küçük değişimler göz ardı edildiğinde farklılık olmadığı anlaşılmıştır. Alt ısıtıcılar için (Şekil 6.21) ilk iki ısıtıcı sırasında, 7. ısıtıcı sırasında ısı transferinde artış meydana gelmiş fakat 5. ısıtıcı sırasında ise azalma meydana gelmiştir. Ayrıca alt ısıtıcıların tümü göz önünde bulundurulduğunda en yüksek ısı transferi değerinin ise  $\alpha=30^\circ$  için gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 6.21. Alt ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama Nu sayısının plaka açısına göre değişimi ( $Re=2000$ ,  $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

Alt yüzeydeki ısıtıcı sıcaklıkları incelendiğinde (Şekil 6.22) tüm durumlarda ısıtıcı sıcaklıklarının 3. ısıtıcı sırasına kadar yükseldiği daha sonra doğal konveksiyonun etkisi ile azalmaya başladığı görülmektedir.

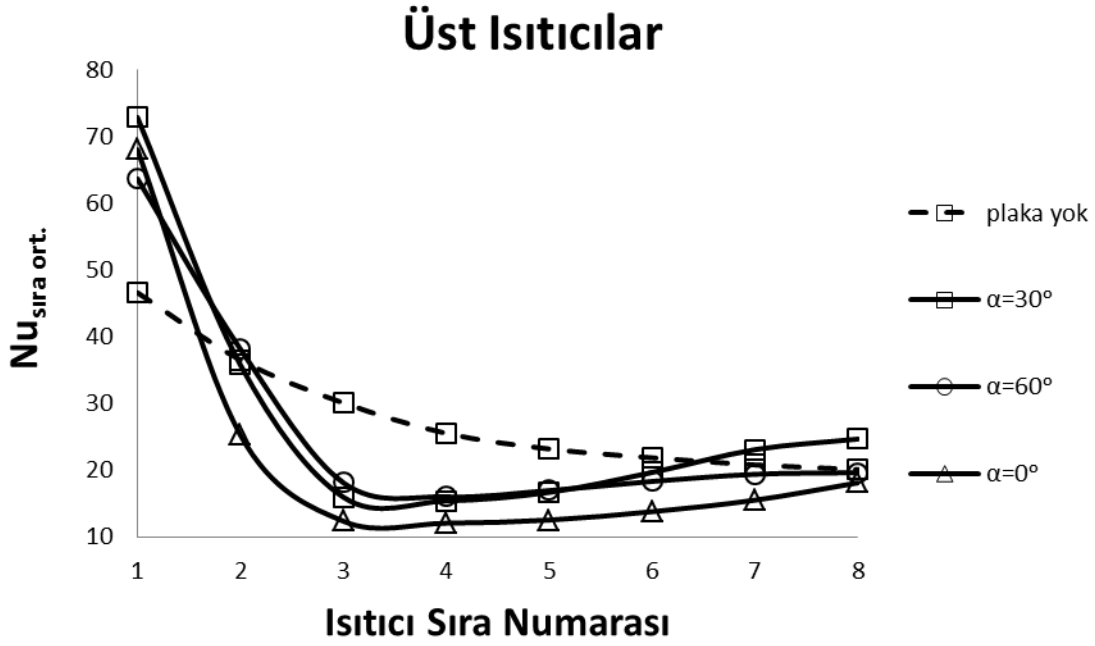
## Alt Isıtıcılar



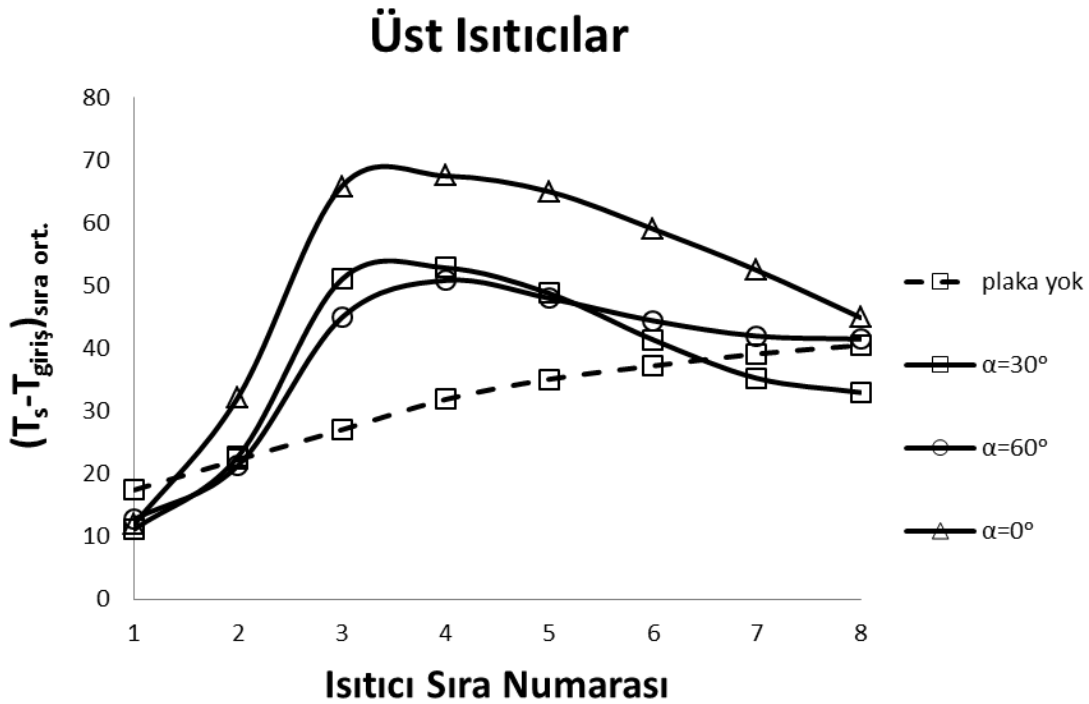
Şekil 6.22. Alt ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama  $T_s - T_{giriş}$  değerlerinin plaka açısına göre değişimi ( $Re=2000$ ,  $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

Plaka açısına göre sıra ortalama Nu sayısı dağılımı üst ısıtıcılar için ele alındığında (Şekil 6.23) plakasız duruma göre en olumsuz durumun  $\alpha=0^\circ$  plaka açısında olduğu görülmektedir. Yalnızca ilk ısıtıcı sırasında ısı transferinde artış meydana gelmekte, diğer tüm ısıtıcı sıralarında ise ısı transferindeki düşüşün belirgin olduğu göze çarpmaktadır.  $\alpha=30^\circ, 60^\circ$  durumlarında da ilk ısıtıcı sırasında farklı oranlarda ısı transferi artışı gerçekleşirken  $\alpha=30^\circ$  plaka açısı için son iki ısıtıcı sırasında,  $\alpha=60^\circ$  için ise son ısıtıcı sırasında ısı transferinde plakasız duruma göre iyileşme görülmektedir.

Şekil 6.24'de de farklı plaka açıları için plakasız duruma göre ısıtıcı sıcaklıklarının dağılımı verilmiştir. Şekil 6.23'de verilen Nu sayısı dağılımına paralel olarak ısıtıcı sıcaklıkları tüm plaka açıları için 4. ısıtıcı sırasına kadar artmış sonraki ısıtıcı sıralarında ise düşerek devam etmiştir. Nu sayısı dağılımında olduğu gibi ısıtıcı sıcaklıklarında da en fazla artış  $\alpha=0^\circ$ 'de görülmektedir.  $\alpha=60^\circ$  plaka açısı için yalnızca ilk ısıtıcı sırasında ısıtıcı sıcaklıkları düşmüş  $\alpha=30^\circ$  plaka açısı incelendiğinde ise ilk ısıtıcı sırasındaki sıcaklıklar



Şekil 6.23. Üst ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama Nu sayısının plaka açısına göre değişimi ( $Re=2000$ ,  $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )



Şekil 6.24. Üst ısıtıcılar için plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama  $T_s - T_{giriş}$  değerlerinin plaka açısına göre değişimi ( $Re=2000$ ,  $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

farklı oranlarda azalmıştır.

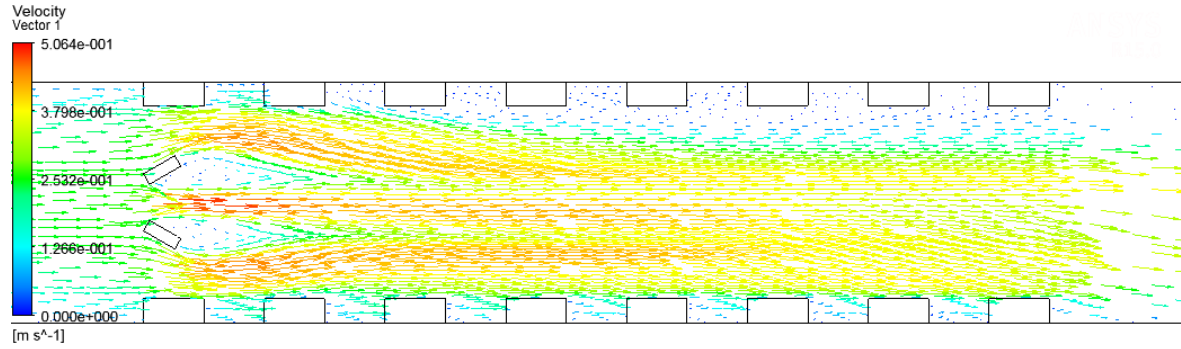
Değişken plaka açılarının ısı transferine ve sıcaklık dağılımına etkisinin hız vektörleri ve sıcaklık kontörlerine bakılarak incelenmesinde 6.9, 6.25 ve 6.26 numaralı şekillerden faydalanılmıştır.

Şekil 6.25’de görüldüğü gibi  $\alpha=60^\circ$  durumunda plaka ile ısıtıcı yüzeyleri arasındaki mesafenin  $\alpha=30^\circ$  durumuna göre artması nedeni ile üst ısıtıcı yüzeylerine çarpan havanın daha az yön değiştirdiği görülmektedir. Bu durum  $\alpha=30^\circ$  plaka açısı uygulanması durumuna göre üst yüzeydeki ikinci ısıtıcı sırası için daha iyi sonuç vermiş fakat  $\alpha=30^\circ$  ye göre kanal girişindeki hava hızının daha yavaş olması ilk ve son iki üst ısıtıcı sırasında sıcaklıkların artmasına sebep olmuştur. Alt yüzeydeki ısıtıcılarda ise hava akımı ısıtıcı yüzeylerinden z eksenini doğrultusunda düzgün şekilde geçerek kanalı terk etmiştir. İlk dört ısıtıcı sırasına kadar sıcaklıkların arttığı sonraki ısıtıcılarda ise az miktarda düşerek devam ettiği gözlemlenmiştir.

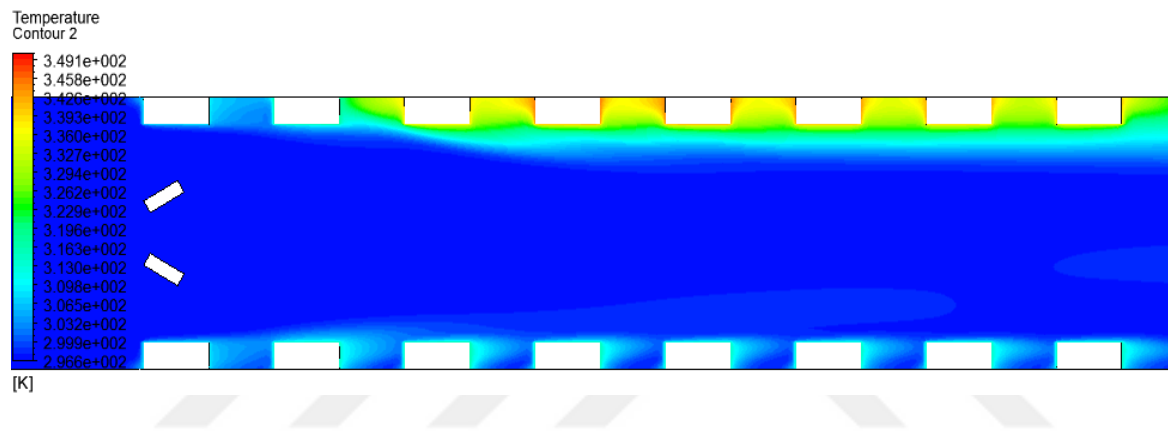
Plaka açısının  $\alpha=0^\circ$  olduğu durumda üst ısıtıcılardaki sıcaklıkların plakasız duruma göre büyük oranda artması Şekil 6.26’da verilen hız vektörlerine bakıldığında plaka ile ısıtıcı arasından geçen hava akışının ısıtıcı yüzeyine çarparak büyük ölçüde aşağı yönleneceği ve böylece ilk ısıtıcı sırasından sonraki ısıtıcılar için yeterli soğutma şartlarını sağlayamamasından kaynaklanmaktadır. Alt ısıtıcılar açısından incelediğinde ise  $\alpha=30^\circ$  plaka açısının olduğu durumla yaklaşık olarak aynı davranışı göstermiştir.

Buraya kadar anlatılan sayısal sonuçlardan görüldüğü gibi alt ve üst yüzeylerinde çıkıntılı ısı kaynakları bulunan yatay bir kanal içerisinde, ısıtıcı bölgesi girişinde olmak üzere plaka yerleştirilmesinin ısıtıcılarda oluşan ısı transferi ve sıcaklık dağılımı üzerine etkileri değişken  $Gr^*$  ve  $Re$  sayıları ile plaka açıları için incelenmiştir. Bu incelemelerin sonucunda tüm parametreler göz önüne alındığında ısıtıcı bölgesi girişine plaka yerleştirilmesi plakanın bulunmadığı duruma göre alt yüzeydeki belirli ısıtıcı sıraları için uygun sonuç verirken üst yüzeydeki ısıtıcı sıralarının büyük çoğunluğunda ısı transferi ve sıcaklık dağılımı bakımından olumsuz sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle plaka yerleştirilmesinin daha sık kullanılan düşey paralel levhalar üzerindeki ısıtıcı sıralarından olan ısı transferine etkisinin de analiz edilmesine karar verilmiştir. Uygun değişikliklerin yapılabilmesi için şimdiye kadar elde edilen sonuçlara bakılarak yeterli soğutma koşulları-

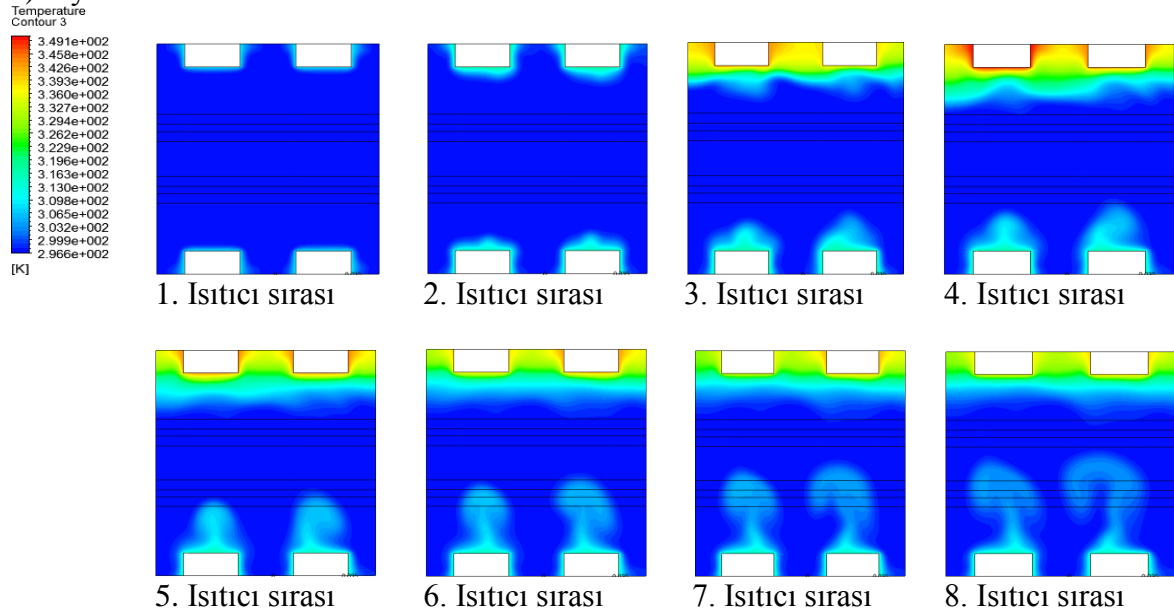
a) y-z düzlemi hız vektörleri x=25mm



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri x=25mm

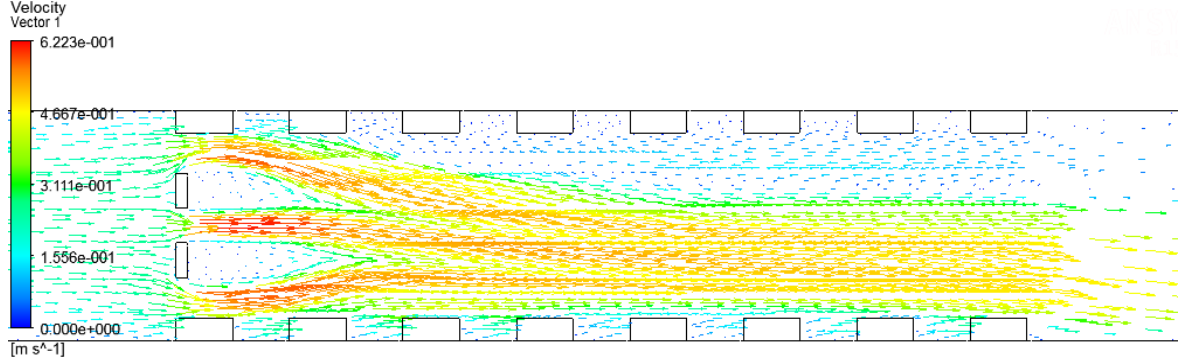


c) x-y düzlemi sıcaklık kontörleri

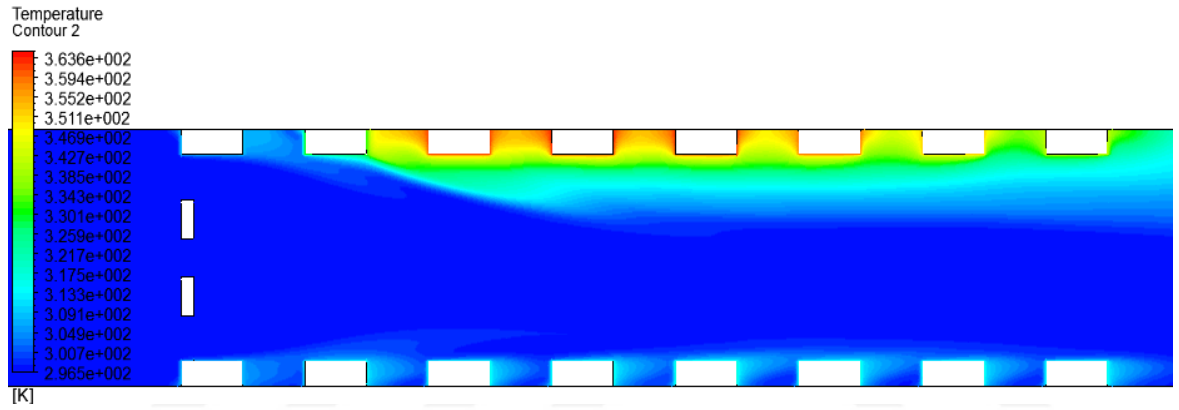


Şekil 6.25. Plakalı durumdaki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde,  $Re=2000$ ,  $\alpha=60^\circ$ ,  $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

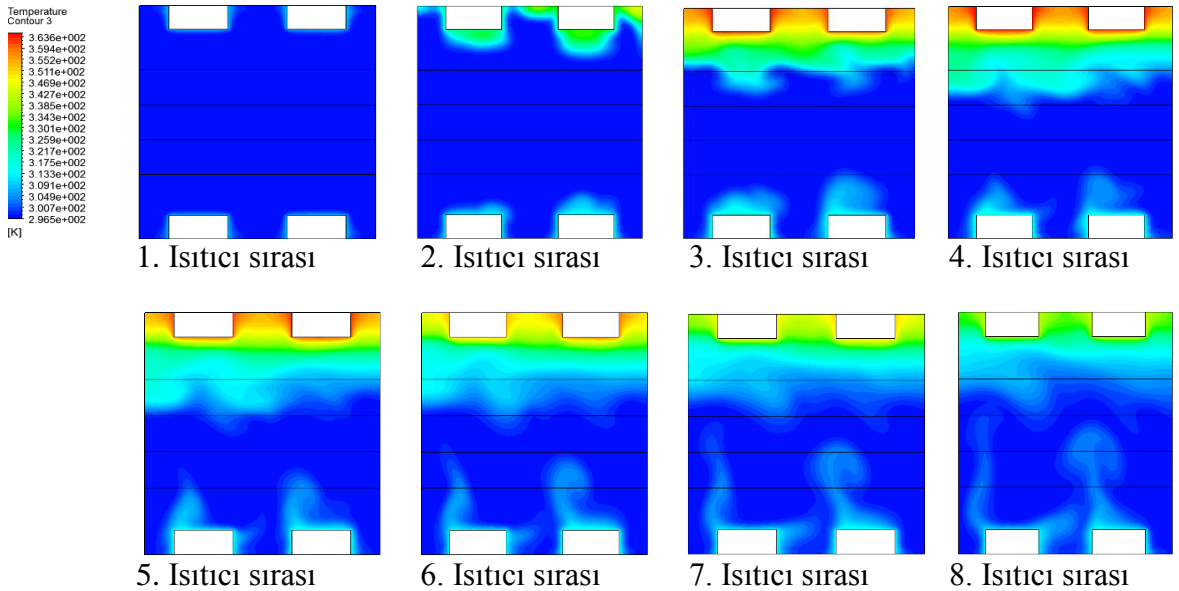
a) y-z düzlemi hız vektörleri  $x=25\text{mm}$



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri  $x=25\text{mm}$



c) x-y düzlemi sıcaklık kontörleri



Şekil 6.26. Plakalı durumdaki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri (Isıtıcılar kanal alt ve üst yüzeylerinde,  $Re=2000$ ,  $\alpha=0^\circ$ ,  $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )



nın sağlanamamasına neden olan temel etkenler aşağıda özetlenmektedir;

- Isıtıcı bölgesi girişinde plaka ile alt ve üst ısıtıcı yüzeyi arasından geçen hava ısıtıcı yüzeylerine çarparak kanal ortasına doğru yönelmektedir. Bu durum sonraki ısıtıcı sıralarına soğutma için yeterli hava miktarının ulaşamamasına sebep olmaktadır.
- Doğal konveksiyonun etkisi ile ısınarak yükselen hava üst ısıtıcılar arasına sıkışarak ısıtıcı sıcaklıklarını artırmaktadır.

### **6.3. Isıtıcıların Kanal Yan Yüzeylerinde Olması Koşulunda Plakalı ve Plakasız Durumlar için Sayısal Sonuçlar**

Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde iken akış yönlendirici plaka kullanımı ile yukarıda bahsi geçen sorunların oluşmayacağı tahmin edilen iki durum aşağıda incelenmiştir. Birinci durumda plakalar ısıtıcı bölgesi girişinde ilk ısıtıcı sırası hizasına yerleştirilmiştir (Şekil 4.4). Böylece birinci problemde bahsedilen alt ve üst yüzeydeki ısıtıcı ayırımı ortadan kalkmış ve her iki yan yüzeyde bulunan ısıtıcılar için eşit soğutma koşulları oluşturulmuştur. Ayrıca bu yerleşim düzeni sonucunda sıcaklık farkından kaynaklanan kaldırma kuvveti etkisiyle sıcak havanın büyük bir kısmının ısıtıcılar arasından yükselerek kanalı terk etmesi amaçlanmıştır. Birinci durum için Çizelge 4.3 ve 4.4’de verilen sayısal çalışma programı uygulanmıştır.

İkinci durumda ise plakalar arasından geçen havanın ısıtıcı bloklara yönlendirilmesi ve plaka ile ısıtıcı arasından geçen havanın ısıtıcı yüzeyine çarparak kanal ortasına yönlenmesinin engellenmesi için plakalar arası kapatılarak her bir ısıtıcı sırası hizasına periyodik olarak plakalar yerleştirilmiştir (Şekil 4.5). İkinci durumda belirtilen yerleşim düzeni için ise Çizelge 4.5-4.8’de verilen sayısal çalışma programı uygulanmıştır.

Sayısal çalışma programlarında belirlenmiş olan  $Re$  sayısı değerleri, tüm plaka yerleşimlerini içeren geometriler için hava akışının ısıtıcı bölgesinde geçiş rejimine veya türbülansa girmeyerek laminar koşullar altında kalması göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Ayrıca farklı plaka yerleşim koşullarında basınç kayıpları sonucu oluşan teorik fan gücündeki ( $N_{fan}$ ) değişimler hesaplanarak ısı transferi değişimine karşılık gelen güç gereksinimleri de ortaya konulmuştur.

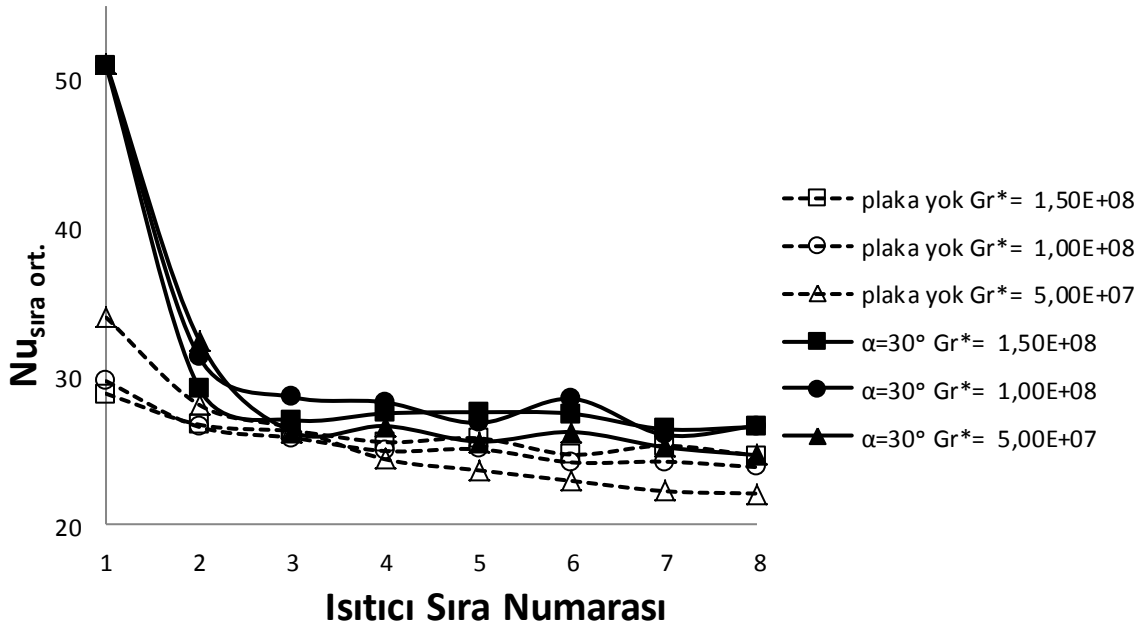
### 6.3.1. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi için sayısal sonuçlar

Çalışmanın bu kısmında ısıtıcıların kanal yan yüzeylerinde bulunması durumunda ısıtıcı bölgesi girişinde plaka kullanımının ısı transferi ve sıcaklık dağılımı üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla ısı transferi ve sıcaklık dağılımları, değişken  $Re$ ,  $Gr^*$  ve  $Ri$  sayılarında plaka açısının  $\alpha=30^\circ, 60^\circ, 0^\circ$ , plakalar arası boşluk mesafesinin kanal yüksekliğine oranının  $L_p/H=3/20$  ve kanal yüksekliğinin kanal genişliğine oranının  $H/W=1/2$  olduğu durumlar için grafikler halinde sunulmuştur.

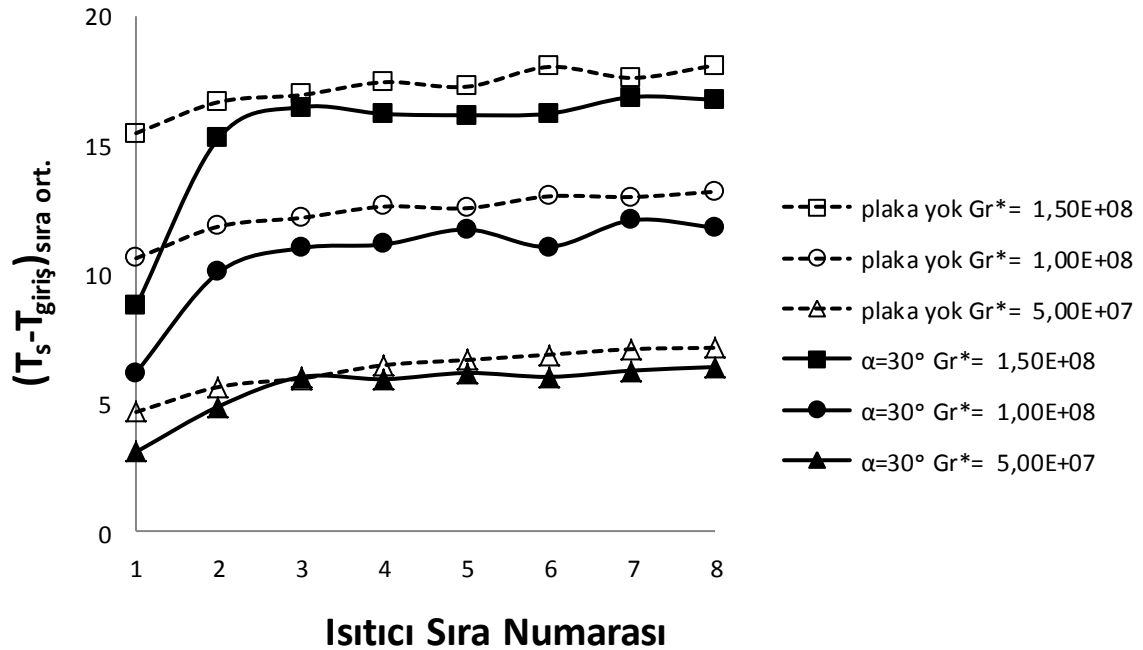
Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi sonucunda  $Gr^*$  sayısına bağlı olarak oluşan ısı transferi ve sıcaklık dağılımının plakasız durumla karşılaştırılması Şekil 6.27 ve 6.28 ile verilen grafiklerde görülmektedir. Tüm  $Gr^*$  sayısı değerleri için ihmal edilebilir seviyedeki değişimler göz ardı edildiğinde plakasız durumda ilk ısıtıcı sırasından son ısıtıcı sırasına kadar ısıtıcı sıcaklıklarının arttığı görülmektedir.  $Gr^*$  sayısının azalması ile birlikte doğal konveksiyon etkisi de azalmış ve bu durum ilk iki ısıtıcı sıralarındaki ısı transferi değerinin artışına neden olmuştur. Diğer ısıtıcı sıralarında ise en yüksek ısı transferi miktarının doğal konveksiyon etkisinin baskın olduğu  $Gr^*$  sayısının  $Gr^*=1,5 \times 10^8$  değerinde gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Plaka yerleşimi durumunda ise  $Gr^*$  sayısı değişimi ilk ısıtıcı sırasında sıcaklıkları etkilemesine rağmen ısı transferi miktarında değişim oluşturmamıştır. 2. ısıtıcı sırası incelendiğinde ise  $Gr^*$  sayısının düşürülerek karışık konveksiyon koşullarına yaklaşılması ile birlikte ısı transferi miktarının arttığı gözlemlenmektedir. 3.-8. ısıtıcı sıraları için ise değişken ısı akısı değerlerinde ısı transferi miktarları birbirlerine göre her bir ısıtıcı sırasında farklı karakteristikler sergilemişlerdir.

Plakalı ve plakasız durumlar birbirleri ile karşılaştırıldığında  $Gr^*$  sayısının tüm değerleri için ısıtıcı sıcaklıkları ısıtıcı bölgesi girişinde plaka kullanımı ile düşürülmüş ve ısı transferi miktarları artırılmıştır.  $Gr^*$  sayısının değişiminden ısı transferi artışı göz önünde bulundurulduğunda en fazla ilk ısıtıcı sıraları etkilenmiştir. Tüm ısıtıcı sıraları ele alındığında  $Gr^*=1 \times 10^8$  değerinde ısı transferi artışının en yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Isı transferindeki artışın en az olduğu durum ise  $Gr^*$  sayısının  $Gr^*=5 \times 10^7$  değerinde gerçekleşmiştir. Bu durum doğal konveksiyon etkisinin artırılmasının plaka kullanımı sonucu oluşan ısı transferi artışını da olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Diğer yandan  $Gr^*=1,5 \times 10^8$  değerinde olduğu gibi doğal konveksiyon etkisinin daha baskın hale



Şekil 6.27. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi ve plakasız durumlarda sıra ortalama Nu sayısının  $Gr^*$  sayısına göre değişimi (Isıtıcılar yan yüzeylerde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )



Şekil 6.28. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi ve plakasız durumlarda sıra ortalama  $T_s - T_{giriş}$  değerlerinin  $Gr^*$  sayısına göre değişimi (Isıtıcılar yan yüzeylerde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

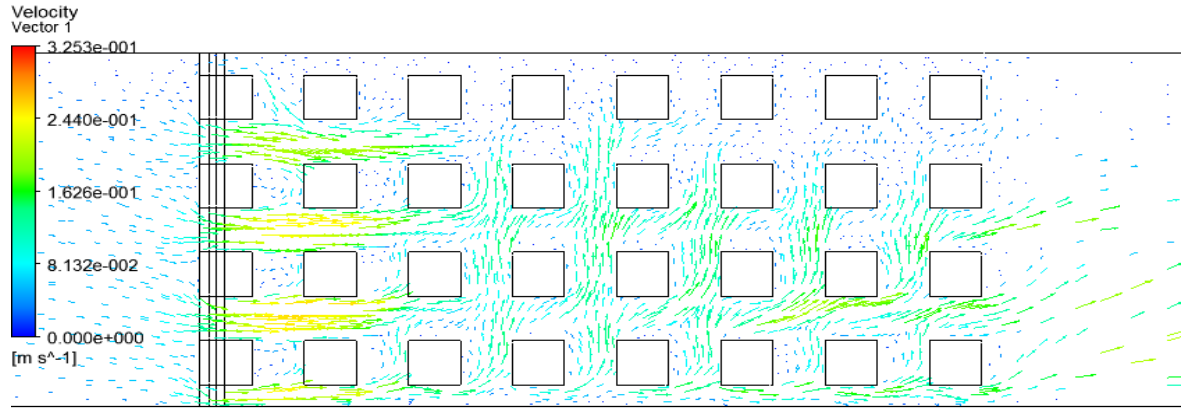
gelmesi yalnızca ilk ısıtıcı sırasındaki ısı transferi artışına katkı sağlamış diğer ısıtıcı sıralarında ise ısıtıcı sıcaklıklarını yükselterek ısı transferi artışını düşürmüştür.

Şekil 6.29-6.32’de ise  $Gr^*$  sayısı değişimine bağlı olarak plakalı ve plakasız durumda oluşan hız vektörleri ile sıcaklık kontörleri gösterilmektedir.  $Gr^* = 1,5 \times 10^8$  değerinde plakalı durumdaki y-z düzlemi hız vektörleri incelendiğinde (Şekil 6.29a) ilk ısıtıcı sırasında hava hızının yükselmesi nedeni ile ısı transferi artışı en fazla olmuştur. 2. Isıtıcı sırasından sonra hava hızı azalmış ve sıcaklık farkından kaynaklanan ikincil akışın etkisi ile hız vektörleri kanal üst yüzeyine doğru yönelmiştir. Bu durum Şekil 6.29b’de görüldüğü gibi üst yüzeye yakın ısıtıcılardaki sıcaklıkların artmasına sebep olmuştur. Şekil 6.29c’deki x-z düzlemi hız vektörlerine bakıldığında ise plaka kullanımı ile artan hava hızının kanal üst yüzeyine doğru etkisini kaybettiği görülmektedir. Ayrıca plaka ile ısıtıcı arasından geçen havanın ısıtıcı yüzeyine çarparak kanal orta kısmına doğru yönlendiği sonrasında tekrar yükselerek kanalı terk ettiği göze çarpmaktadır. Bu durum 2.-4. ısıtıcı sıralarındaki ısıtıcılara yeterli hava akımının ulaşamamasına ve sıcaklıklarının artmasına neden olmuştur.

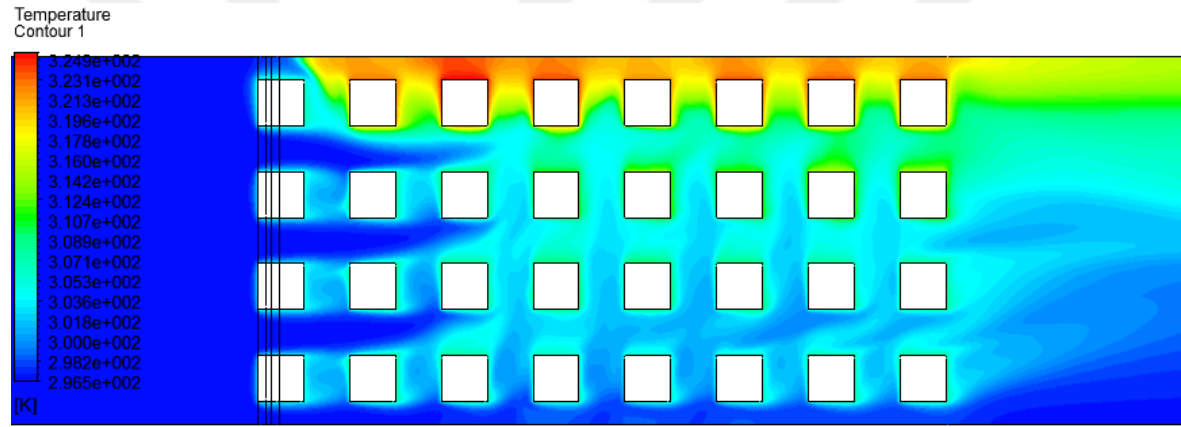
$Gr^* = 1,5 \times 10^8$  değeri için plakasız durumda ise (Şekil 6.30) y-z düzlemi hız vektörlerinden anlaşıldığı gibi ısıtıcı bölgesi girişinden itibaren hız vektörleri doğal konveksiyon etkisi ile kanal üst yüzeyine doğru yönelmiş ve buradaki ısıtıcı sıcaklıklarının artmasına sebep olmuştur. Plakalı durumda olduğu gibi x-z düzlemi hız vektörleri incelendiğinde hava hızı kanal üst yüzeyine doğru azalma eğilimi göstermiştir.

Plakalı durum için  $Gr^*$  sayısının  $Gr^* = 5 \times 10^7$  değerini alarak karışık konveksiyon koşullarına yaklaşılmaması durumunda y-z düzlemi hız vektörlerine bakıldığında (Şekil 6.31a) hava akışının 5. ısıtıcı sırasından sonra kanal üst yüzeyine daha çok yönlendiği görülmektedir. Böylece en yüksek sıcaklıklar son iki ısıtıcı sırasında kanal üst yüzeyine yakın olan ısıtıcılarda oluşmuştur (Şekil 6.31b). Hava hızının kanal üst yüzeyine doğru düşmesine rağmen ısıtıcı yüzeyine çarparak kanal ortasına yönelen hava miktarı da azalmıştır. Bu durum plaka kullanımı sonucu artan hava hızının etkisinden doğal konveksiyon etkisinin yüksek olduğu koşula nispeten ( $Gr^* = 1,5 \times 10^8$ ) daha fazla sayıda ısıtıcının faydalandığını göstermektedir. Şekil 6.32a incelendiğinde ise plakasız durumda da doğal konveksiyon etkisinin azalması sonucu kanal üst yüzeyine yönelen hava miktarı düşmüş-

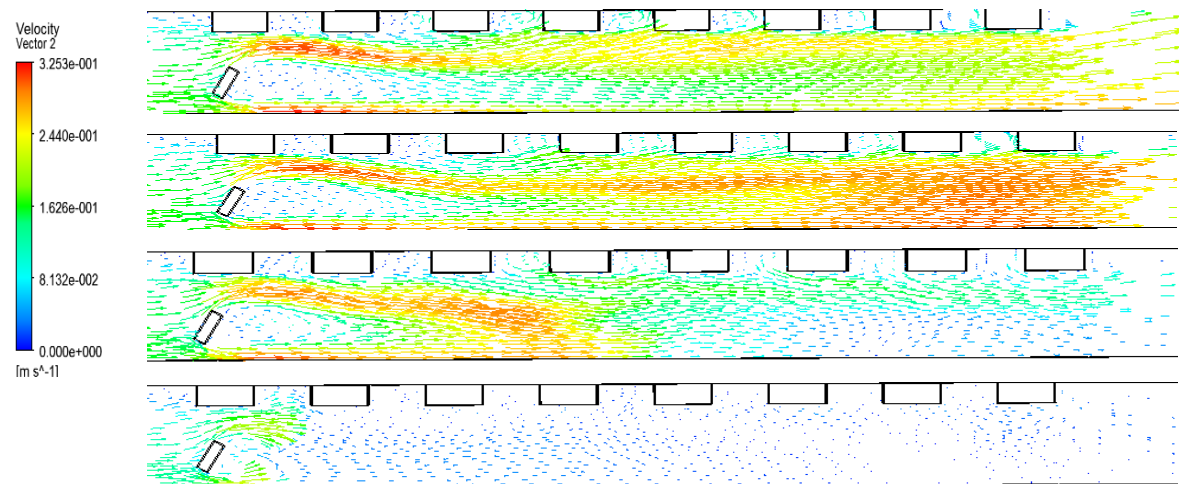
a) y-z düzlemi hız vektörleri, x=5mm



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri, x=5 mm

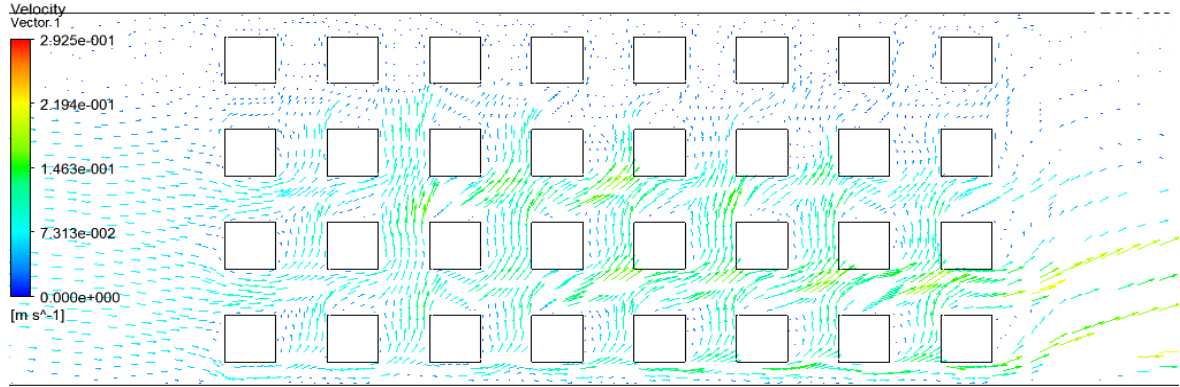


c) x-z düzlemi hız vektörleri, y=25mm, y=75mm, y=125mm, y=175mm

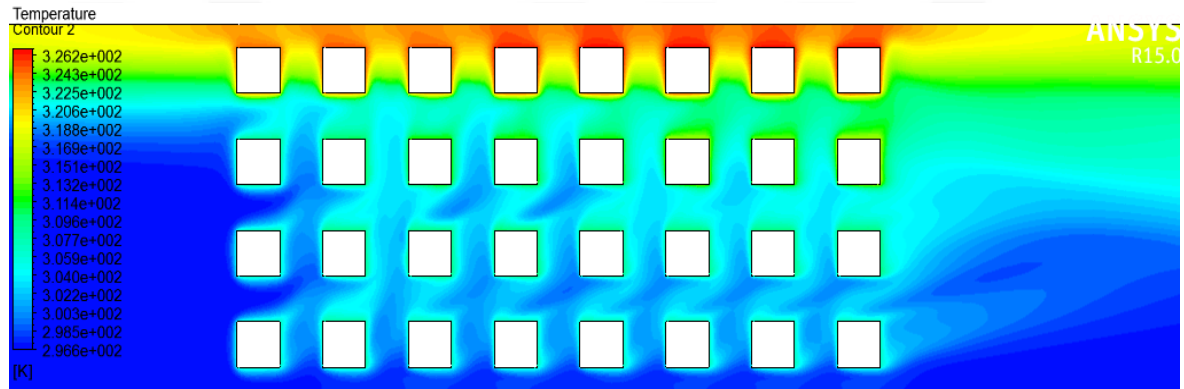


Şekil 6.29. Isıtıcı bölgesi girişinde plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

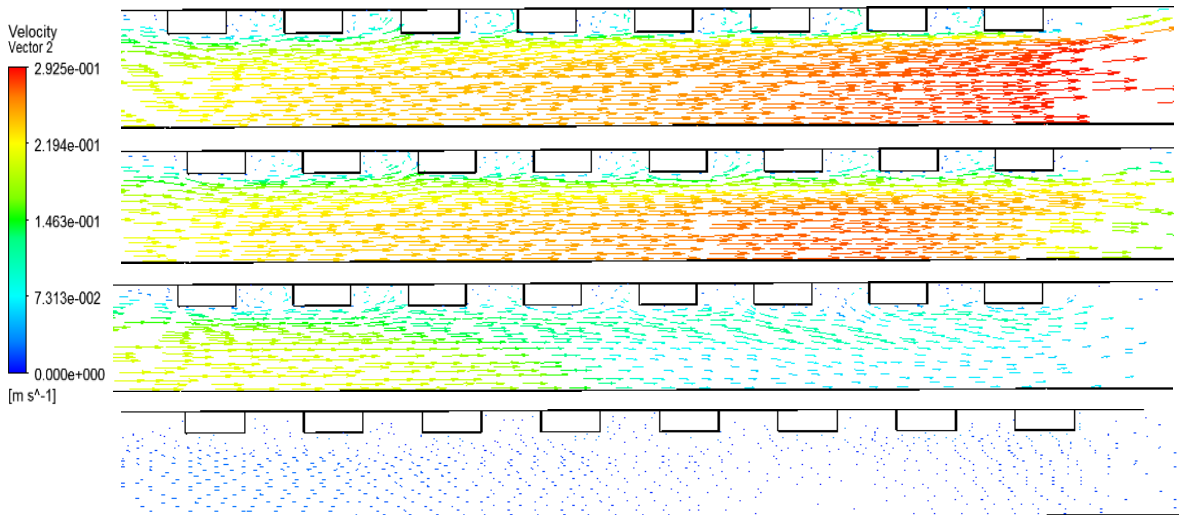
a) y-z düzlemi hız vektörleri,  $x=5\text{mm}$



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri,  $x=5\text{ mm}$

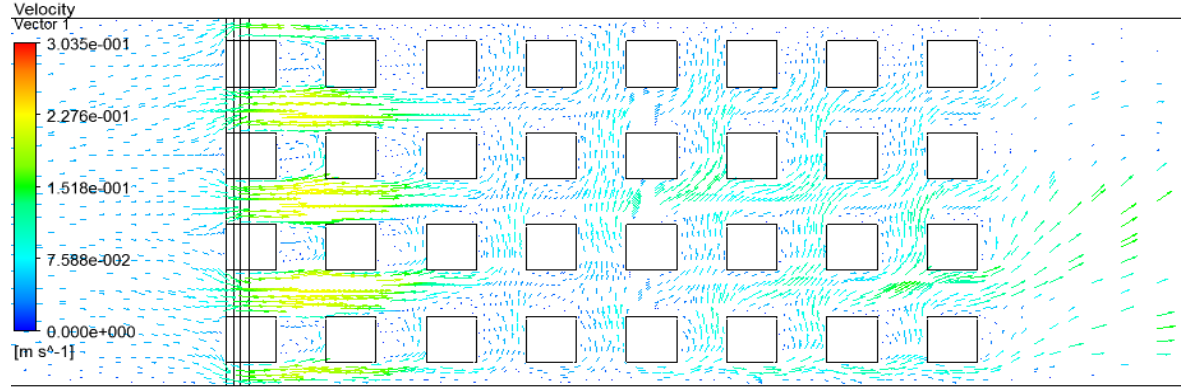


c) x-z düzlemi hız vektörleri,  $y=25\text{mm}$ ,  $y=75\text{mm}$ ,  $y=125\text{mm}$ ,  $y=175\text{mm}$

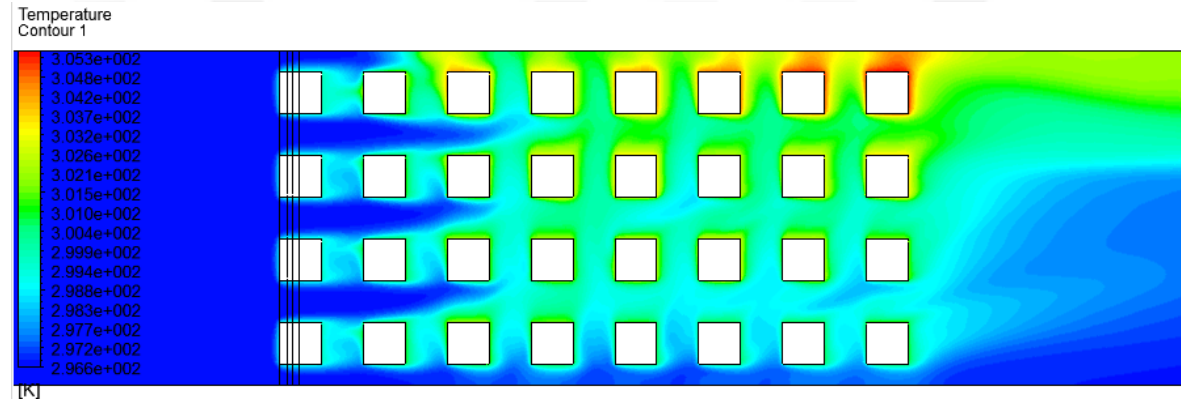


Şekil 6.30. Plakasız durum (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $H/W=1/2$ )

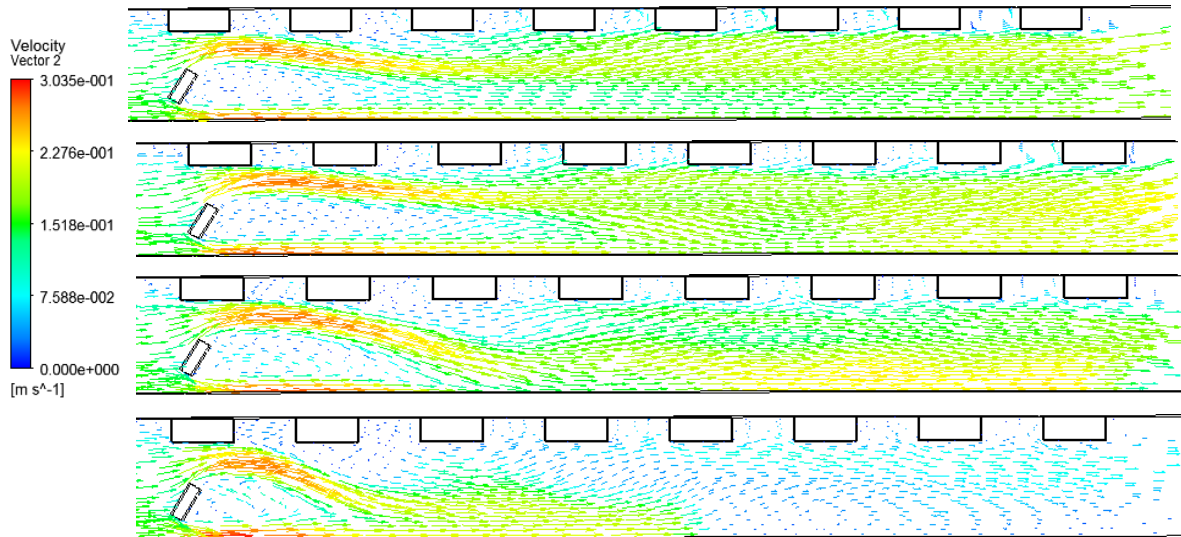
a) y-z düzlemi hız vektörleri, x=5mm



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri, x=5 mm

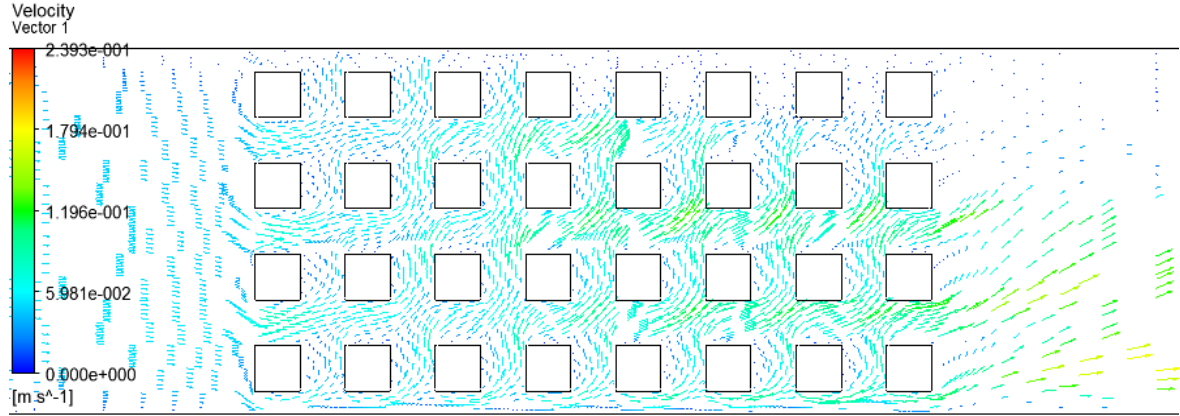


c) x-z düzlemi hız vektörleri, y=25mm, y=75mm, y=125mm, y=175mm

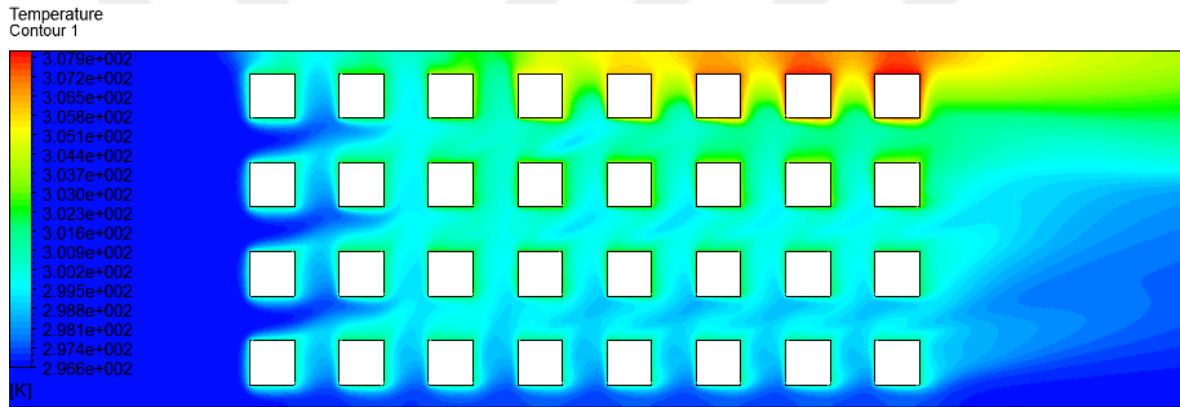


Şekil 6.31. Isıtıcı bölgesi girişinde plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=5 \times 10^7$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

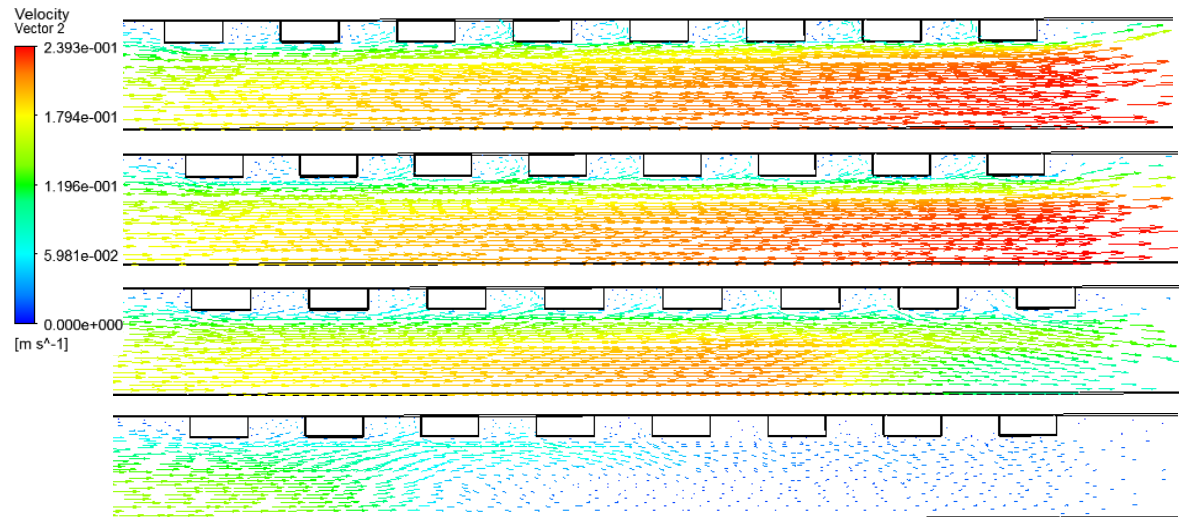
a) y-z düzlemi hız vektörleri,  $x=5\text{mm}$



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri,  $x=5\text{ mm}$



c) x-z düzlemi hız vektörleri,  $y=25\text{mm}$ ,  $y=75\text{mm}$ ,  $y=125\text{mm}$ ,  $y=175\text{mm}$

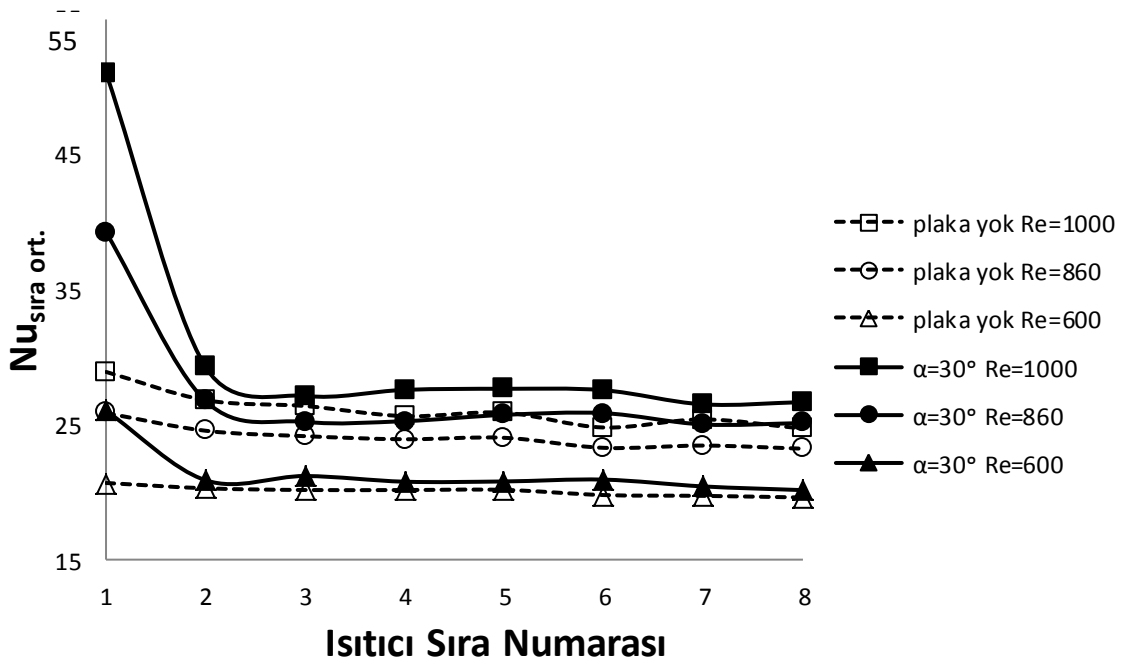


Şekil 6.32. Plakasız durum (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=5 \times 10^7$ ,  $H/W=1/2$ )

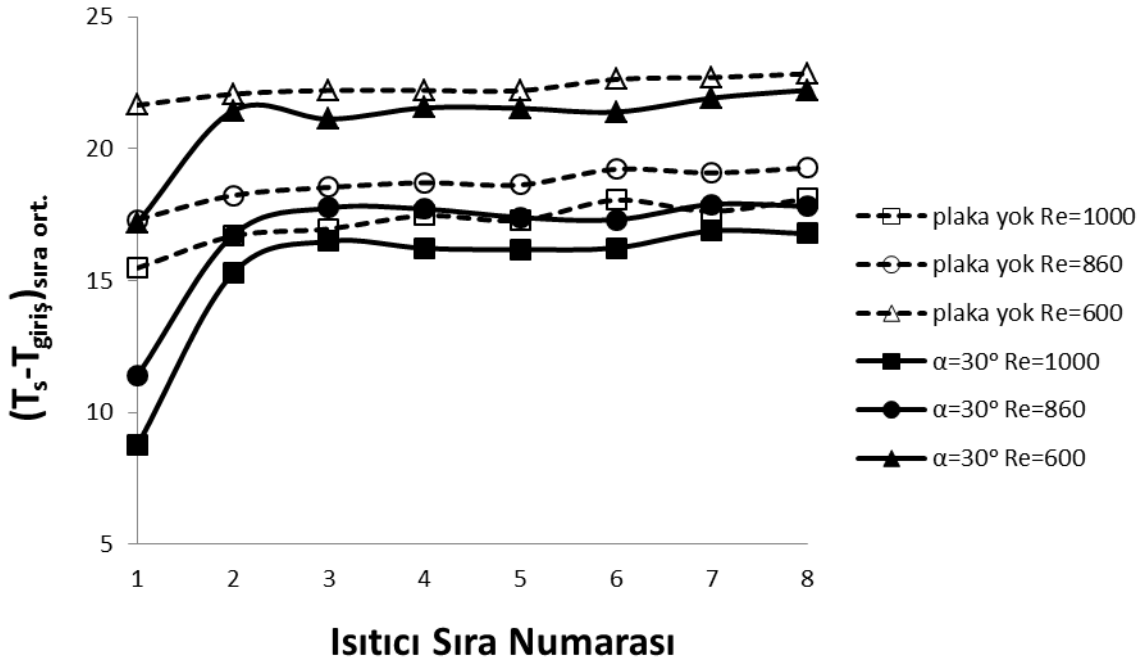


tür. Böylece ilk 5 ısıtıcı sırasında bulunan üst yüzeydeki ısıtıcı sıcaklıklarında azalma meydana gelmiştir (Şekil 6.32b).

Isı transferi miktarını etkileyen önemli faktörlerden bir diğeri ise Re sayısındaki değişimdir. Re sayısı değişimi sonucunda plakalı ve plakasız durumlar için oluşan ısı transferi ve sıcaklık dağılımı değerleri Şekil 6.33 ve 6.34'de verilen grafiklerde gösterilmektedir. Plakasız durum ele alındığında tüm Re sayısı değerleri için ısıtıcı sıcaklıkları ilk ısıtıcı sırasından itibaren artarak devam etmiştir. Bu duruma bağlı olarak Nu sayısı değerleri de ilk ısıtıcı sırasından son ısıtıcı sırasına doğru azalmıştır. Plakasız duruma benzer şekilde plaka yerleşimi sonucunda da en yüksek ısı transferi değeri  $Re=1000$  değerinde elde edilmiştir. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşiminin etkisi ile tüm Re sayısı değerlerinde ilk ısıtıcı sırasında sıcaklıklar büyük ölçüde düşmüş ve Nu sayısı değerleri artmıştır. Diğer ısıtıcı sıralarında ise son ısıtıcı sırasına kadar hava hızının düşmesine bağlı olarak ısı transferi miktarları da azalmıştır.



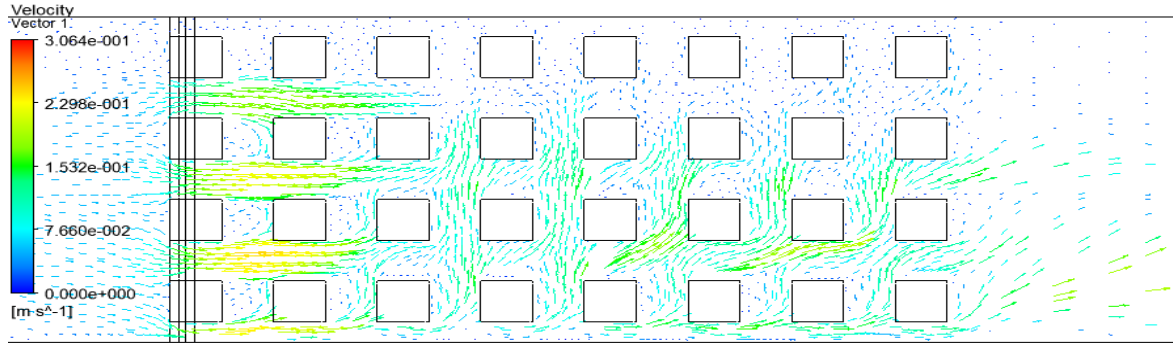
Şekil 6.33. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi ve plakasız durumlarda sıra ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi (Isıtıcılar yan yüzeylerde,  $Gr^*=1,5 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )



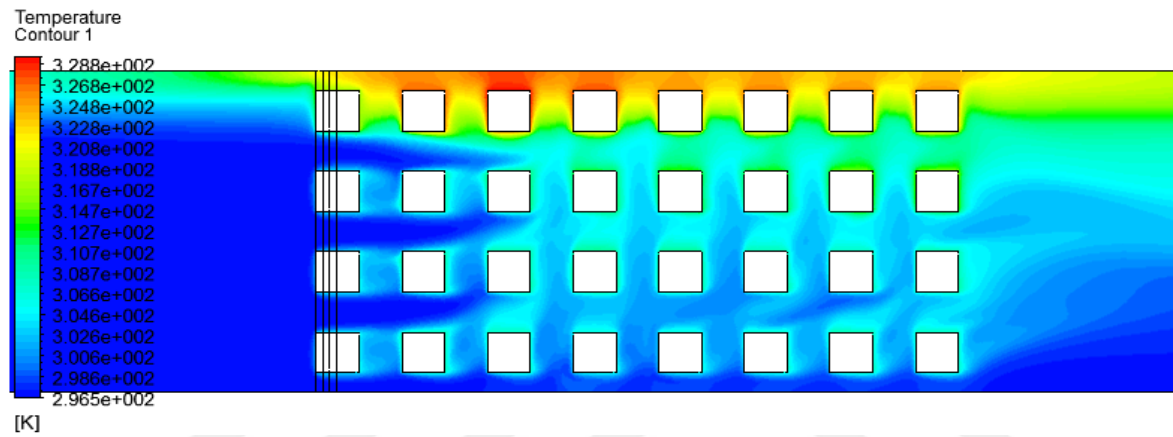
Şekil 6.34. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi ve plakasız durumlarda sıra ortalama  $T_s - T_{giriş}$  değerlerinin Re sayısına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Gr^* = 1,5 \times 10^8$ ,  $L_p/H = 3/20$ ,  $H/W = 1/2$ )

Plaka yerleşimi sonucunda tüm ısıtıcı sıraları düşünüldüğünde  $Re=1000$  değerinde plakasız duruma göre ısı transferi artışının en yüksek değerine ulaştığı görülmektedir. Re sayısının azalması ile birlikte plakalı ve plakasız durumdaki ısıtıcı sıcaklıkları birbirine yaklaşmış ve ısı transferi artışını da düşürmüştür. Re sayısının  $Re=600$  değerinde zorlanmış konveksiyon etkisi ihmal edilebilecek seviyede olup ( $Ri=19$ ) tamamı ile doğal konveksiyon koşullarında bir akış meydana gelmiştir. Bu durumda plaka kullanımı ile yalnızca ilk ısıtıcı sırası için belirgin bir ısı transferi artışı mevcuttur.

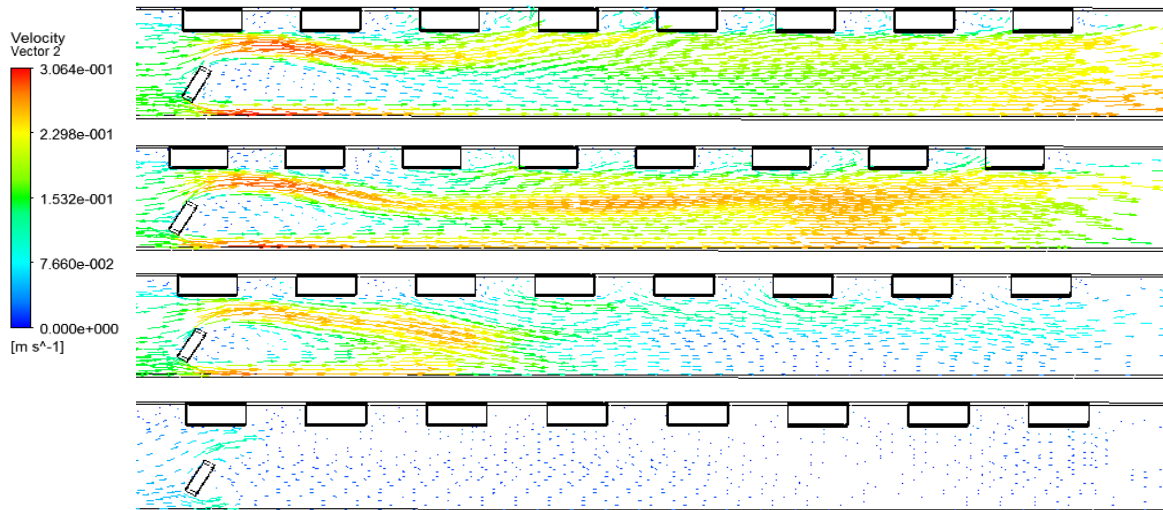
Re Sayısı'nın  $Re=860$  ve  $Re=600$  değerleri için plakalı ve plakasız durumda oluşan hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri Şekil 6.35-6.38'de verilmiştir. Plakalı durum için  $Re=1000$  değerindeki y-z düzlemi hız vektörleri düşünüldüğünde Ri sayısı  $Ri=5$  değerinden  $Ri=7,3$  değerine yükselmiştir. Bununla birlikte sıcaklık farkından kaynaklanan ikincil akışın etkisine bağlı olarak 3. ısıtıcı sırasından itibaren kanal üst yüzeyine yönlenecek hava miktarı artarak ısıtıcı sıcaklıklarını yükseltmiştir (Şekil 6.35a ve 6.35b).  $Re=600$  değerinde ise akış ( $Ri=19$ ) tamamı ile doğal konveksiyon koşullarında gerçekleşmiş ve üst yüzeye yakın ısıtıcıların tümünde sıcaklıkları artırarak ısı transfer miktarını düşürmüştür (Şekil 6.37a ve 6.37b). Diğer yandan Re sayısının azalması ile birlikte x-z düzlemindeki hız vektörlerinden a) y-z düzlemi hız vektörleri,  $x=5mm$



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri, x=5 mm

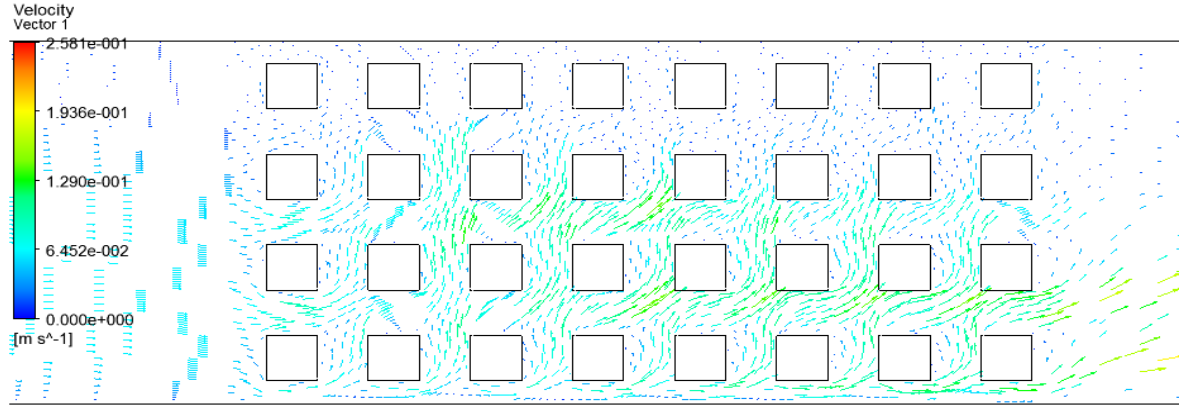


c) x-z düzlemi hız vektörleri, y=25mm, y=75mm, y=125mm, y=175mm

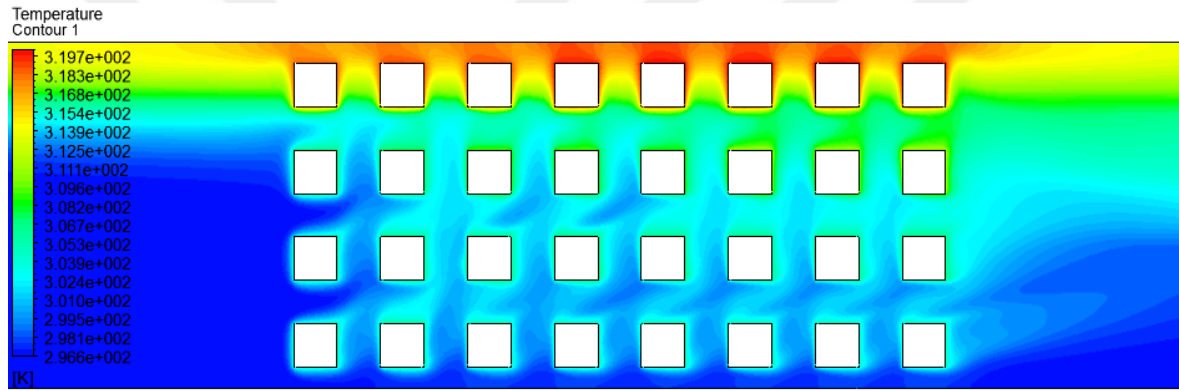


Şekil 6.35. Isıtıcı bölgesi girişinde plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=860$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

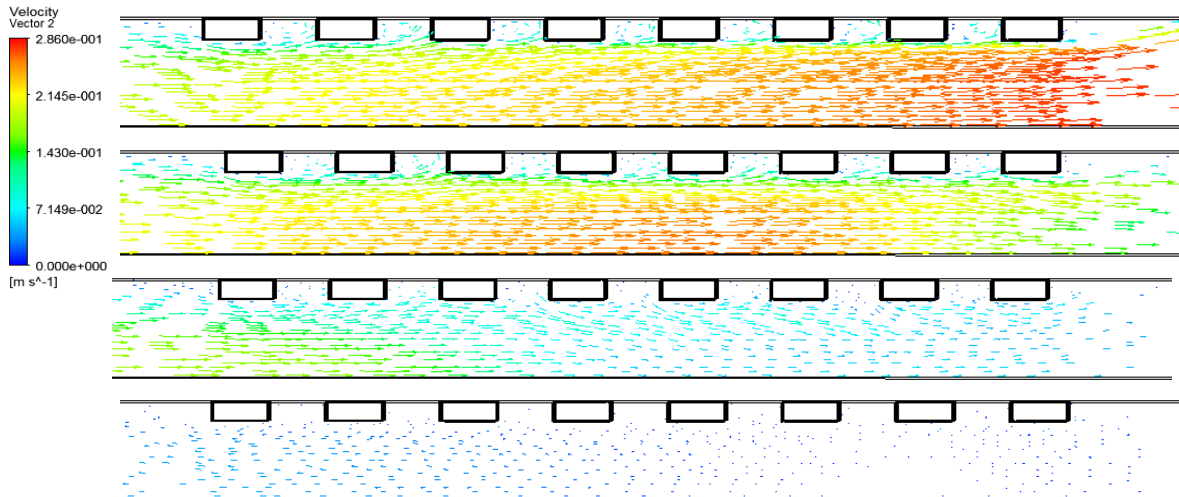
a) y-z düzlemi hız vektörleri, x=5mm



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri, x=5 mm

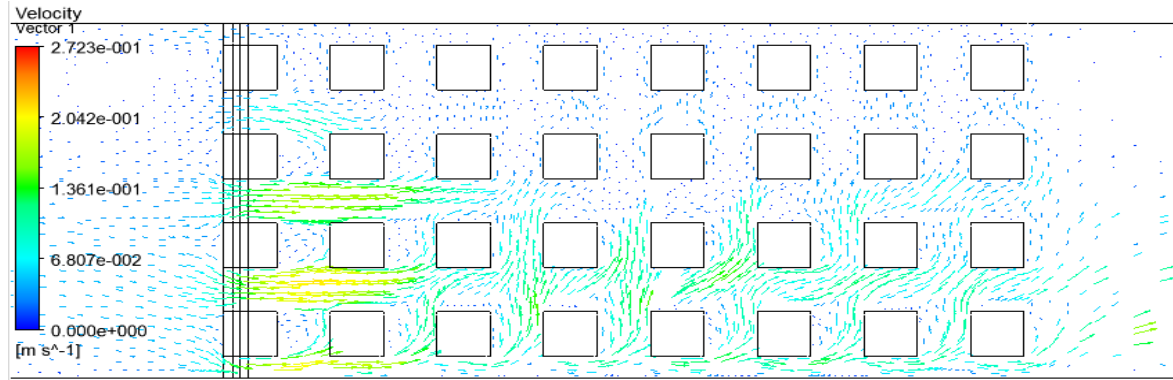


c) x-z düzlemi hız vektörleri, y=25mm, y=75mm, y=125mm, y=175mm

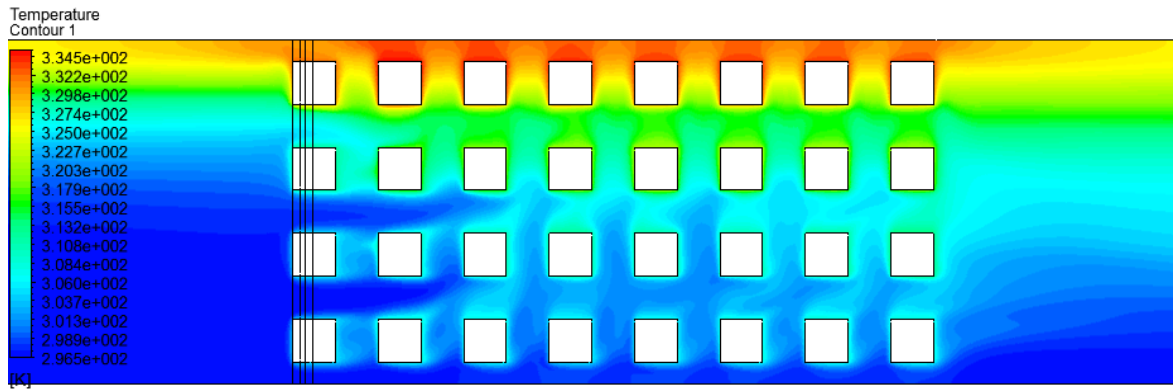


Şekil 6.36. Plakasız durum (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=860$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $H/W=1/2$ )

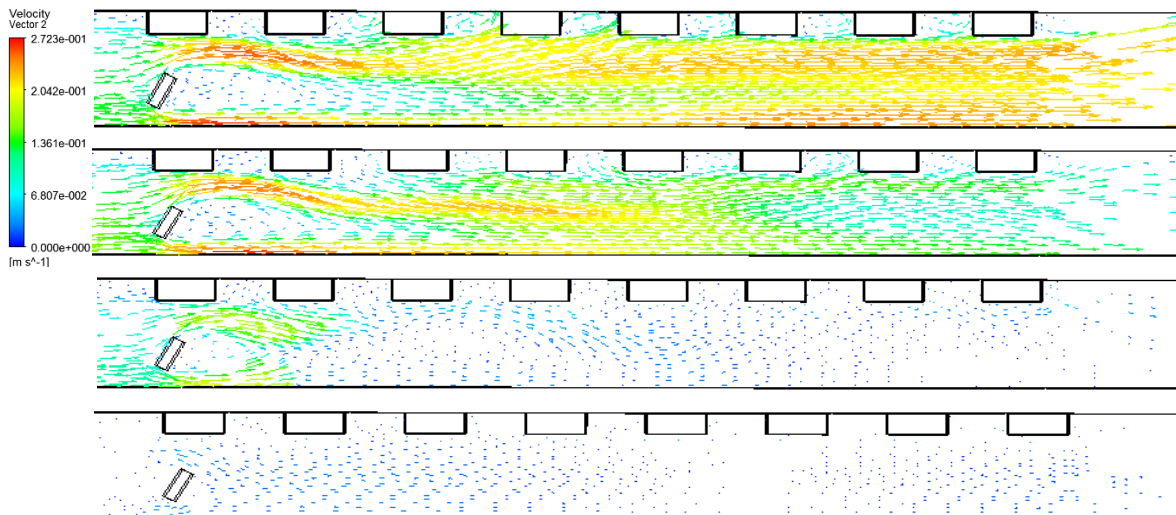
a) y-z düzlemi hız vektörleri, x=5mm



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri, x=5 mm

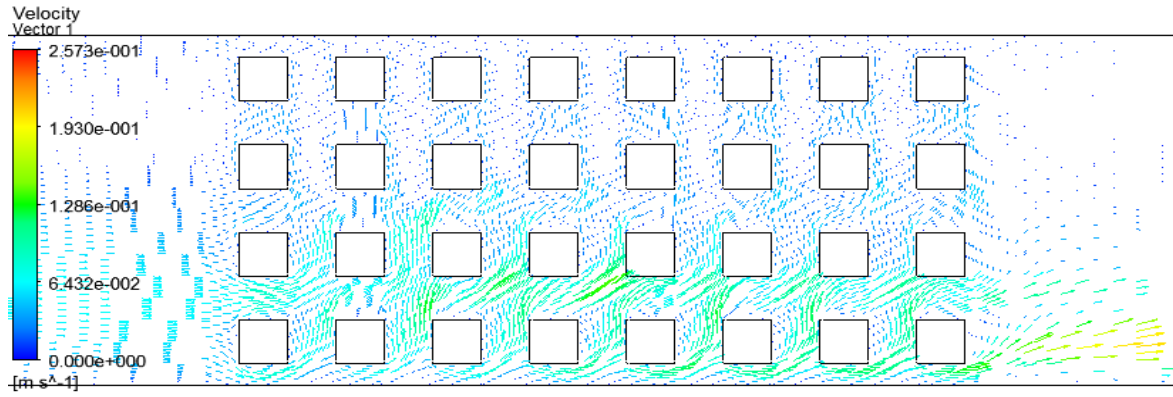


c) x-z düzlemi hız vektörleri, y=25mm, y=75mm, y=125mm, y=175mm

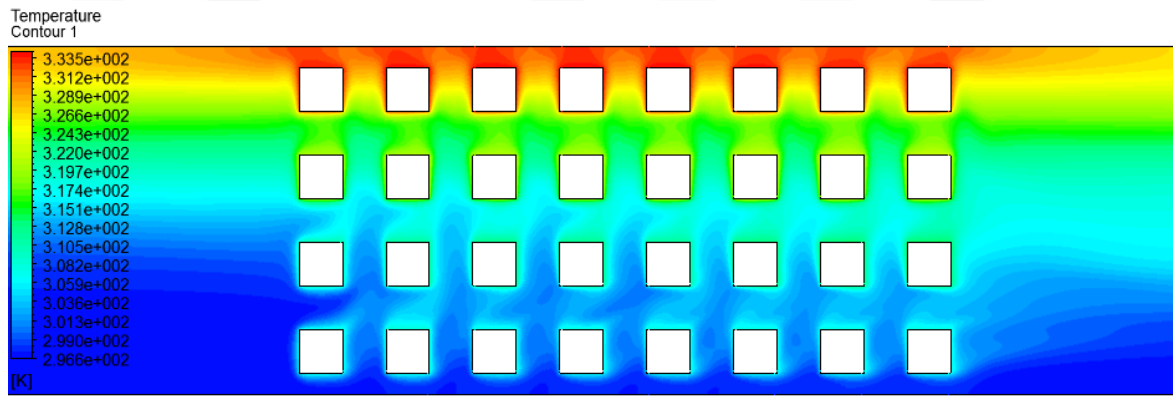


Şekil 6.37. Isıtıcı bölgesi girişinde plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=600$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

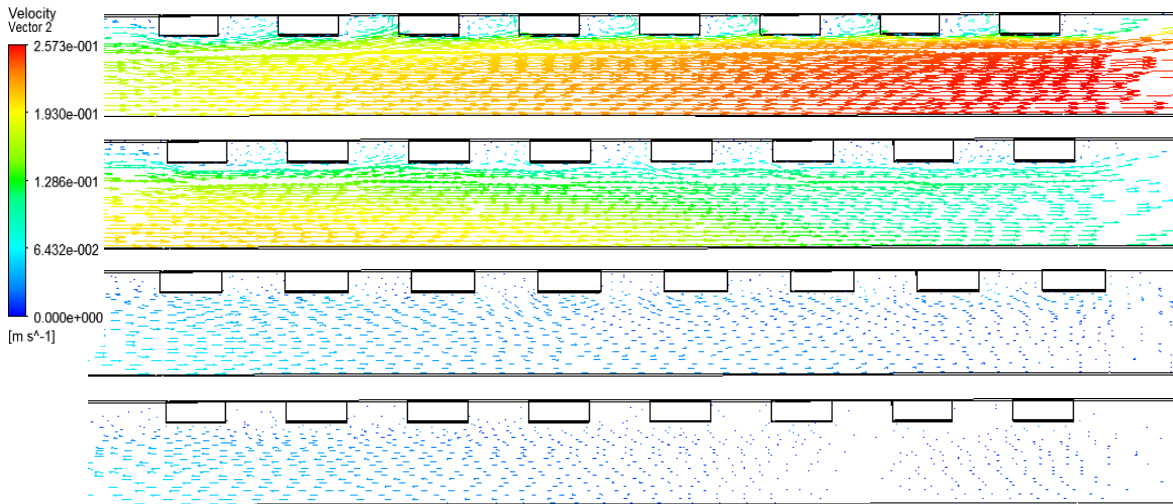
a) y-z düzlemi hız vektörleri,  $x=5\text{mm}$



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri,  $x=5\text{ mm}$



c) x-z düzlemi hız vektörleri,  $y=25\text{mm}$ ,  $y=75\text{mm}$ ,  $y=125\text{mm}$ ,  $y=175\text{mm}$

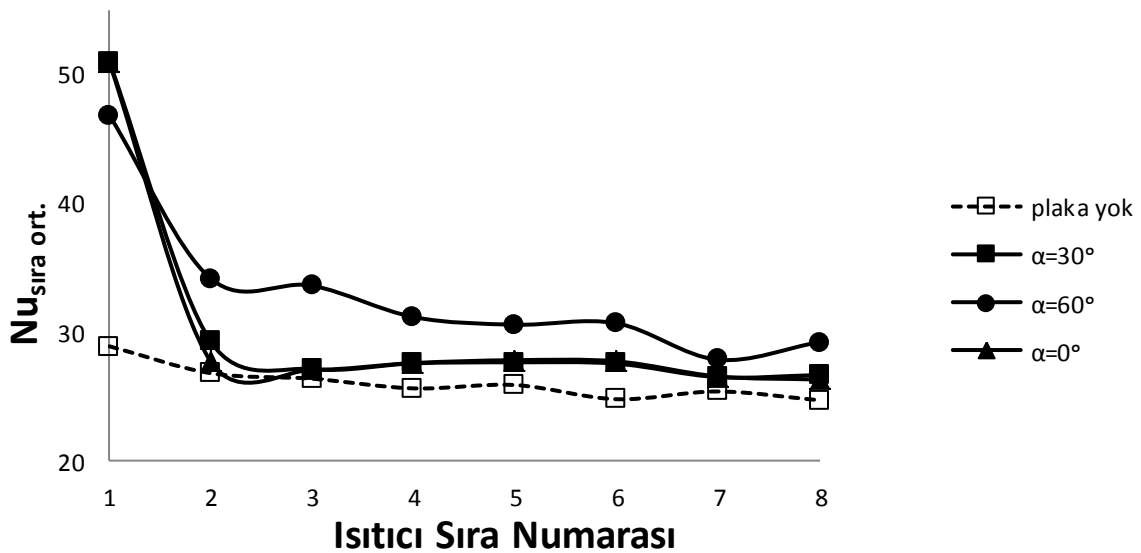


Şekil 6.38. Plakasız durum (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=600$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $H/W=1/2$ )

(Şekil 6.35c, Şekil 6.37c) anlaşıldığı gibi kanal üst yüzeyine doğru hava hızındaki düşüş miktarı artmıştır.

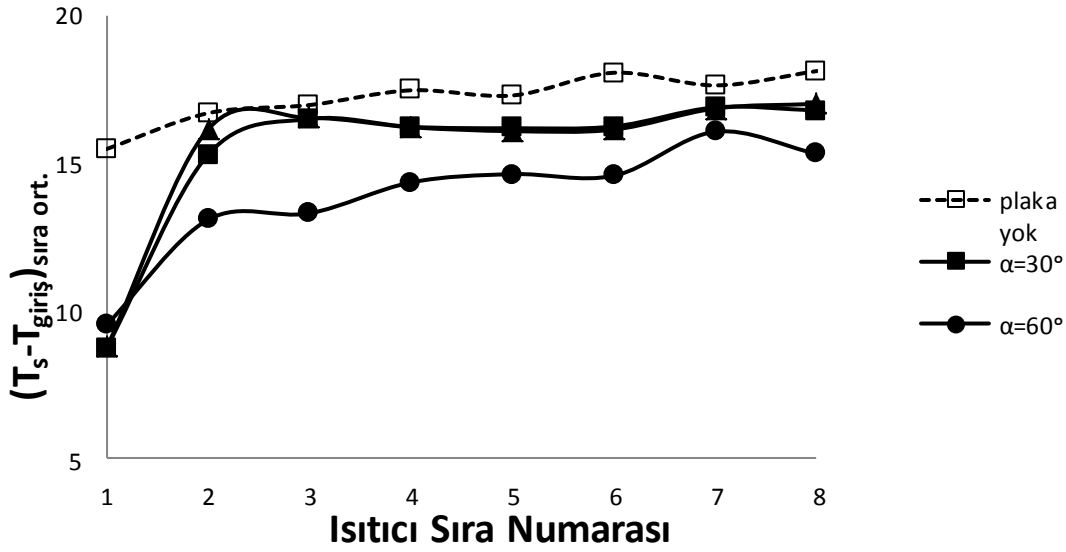
Plakalı duruma benzer şekilde Re sayısının düşmesi ile birlikte plakasız durum içinde doğal konveksiyon etkisinin artışı tüm ısıtıcı sıraları için üst yüzeye yakın ısıtıcı sıcaklıklarının artışına sebep olarak ısı transfer miktarını düşürmüştür. Şekil 6.36 ve 6.38'deki hız vektörleri ile sıcaklık kontörleri incelendiğinde üst yüzeye yakın noktadaki hava hızı Re sayısının azalması ile birlikte büyük oranda düşmüştür. Bu durum üst yüzeye yakın ısıtıcı sıcaklıklarının büyük oranda artışına sebep olmuştur.

Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi durumunda değişken plaka açısı değerleri için oluşan ısı transferi ve sıcaklık dağılımları Şekil 6.39 ve 6.40'da verilmiştir. Şekil 6.39 incelendiğinde plaka açısının  $\alpha=30^\circ$  ve  $\alpha=0^\circ$  olduğu durumlarda,  $Nu_{\text{sıra ort.}}$  ilk iki ısıtıcı sırası dışında yaklaşık olarak aynı değerleri almıştır. İlk iki ısıtıcı sırasında ise  $\alpha=30^\circ$  için plakasız duruma göre ısı transferi artışının daha iyi olduğu görülmektedir. Plaka açısının  $\alpha=60^\circ$  olması durumunda ise ilk ısıtıcı sırasında diğer açı değerlerine göre ısı transferinde azalma meydana gelmiştir. Diğer ısıtıcı sıralarında ise  $\alpha=60^\circ$  için plakasız duruma göre ısı transferi artışı diğer plaka açılara göre en yüksek değerine ulaşmıştır.



Şekil 6.39. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi ve plakasız durumlarda sıra ortalama Nu sayısının plaka açısına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $Re=1000$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

Şekil 6.40'daki ısıtıcı sıcaklık dağılımları ele alındığında ise ısı transferi değerlerine paralel olarak  $\alpha=30^\circ$  ve  $\alpha=0^\circ$  değerleri için sıcaklıkların ilk iki ısıtıcı sırası haricinde aynı kaldığı görülmektedir. Her iki açı değerinde de ilk ısıtıcı sırasından son ısıtıcı sırasına doğru sıcaklıklar artmıştır. Plaka açısının  $\alpha=60^\circ$  olması durumunda ise plakasız duruma göre en fazla sıcaklık düşümü gerçekleşmiştir. Diğer açı değerlerinde olduğu gibi küçük dalgalanmalar meydana gelse de sıcaklıklar ısıtıcı sırası ile birlikte artış göstermiştir.

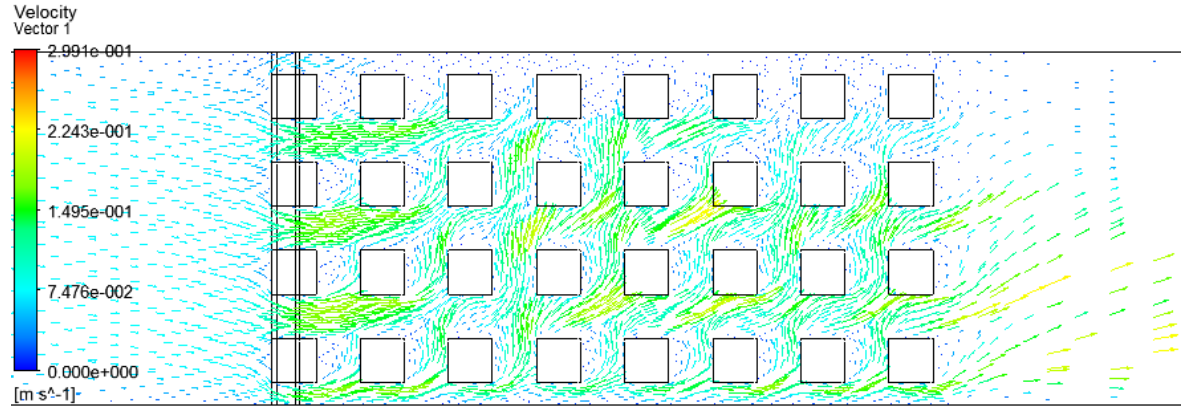


Şekil 6.40. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi ve plakasız durumlarda değişken sıra ortalama  $T_s-T_{giriş}$  değerlerinin plaka açısına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $Re=1000$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

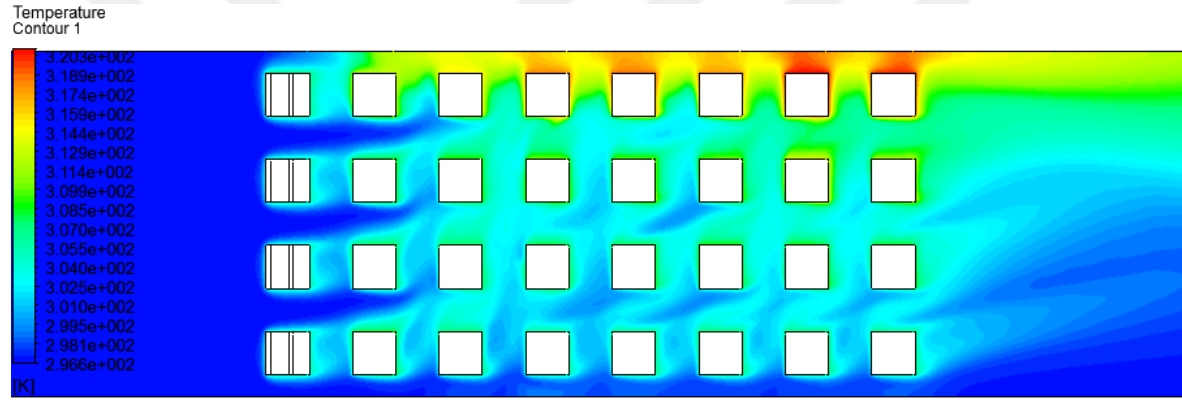
Şekil 6.41 ve 6.42'de plaka açısının  $\alpha=60^\circ$  ve  $\alpha=0^\circ$  değerleri için hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri görülmektedir. Plakasız duruma göre en yüksek ısı transfer artışının olduğu  $\alpha=60^\circ$  durumu için x-z düzlemi hız vektörleri incelendiğinde (Şekil 6.41c), plaka ve ısıtıcı yüzeyi arasından geçen havanın diğer açı değerlerine göre (Şekil 6.29c ve 6.40c) ısıtıcı yüzeyine çarparak daha az miktarda kanal ortasına yönlendiği anlaşılmaktadır. Bu durum ısıtıcılar üzerindeki soğutma için gerekli hava miktarını artırmıştır. Böylece  $\alpha=60^\circ$  için plakasız duruma göre en yüksek ısı transferi artışı sağlanmıştır. Plaka açısının  $\alpha=30^\circ$  ve  $\alpha=0^\circ$  olduğu değerlerde, plakalar ve ısıtıcı yüzeyler arası mesafenin  $\alpha=60^\circ$  durumuna göre daha az olması nedeni ile ilk ısıtıcı sırasındaki hava hızı yükselmiştir (Şekil 6.29a ve 6.42a). Bu nedenle ilk ısıtıcı sırası için en yüksek ısıtıcı sıcaklıklarının  $\alpha=60^\circ$  durumunda



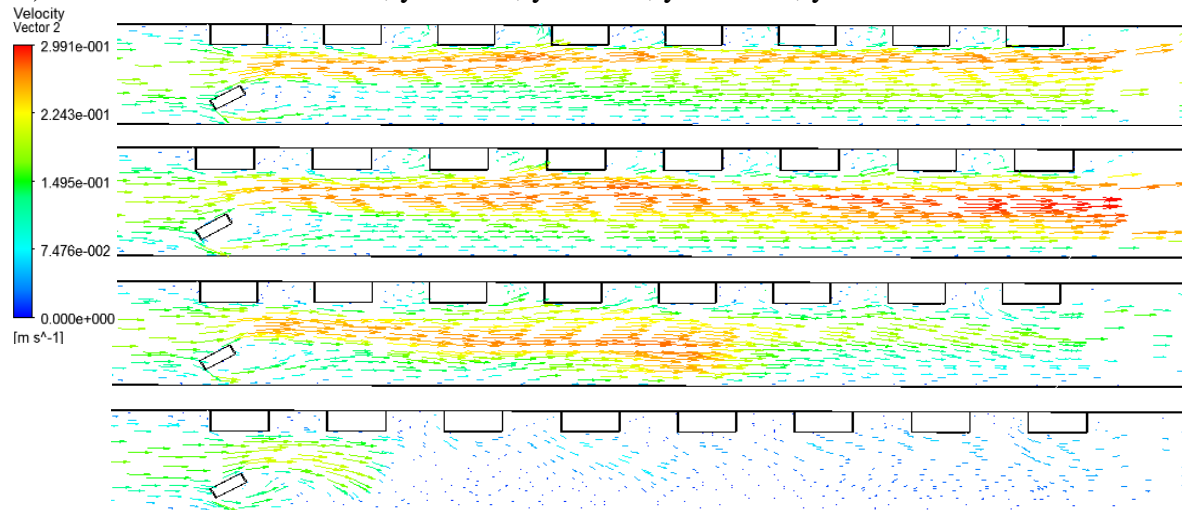
a) y-z düzlemi hız vektörleri, x=5mm



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri, x=5 mm

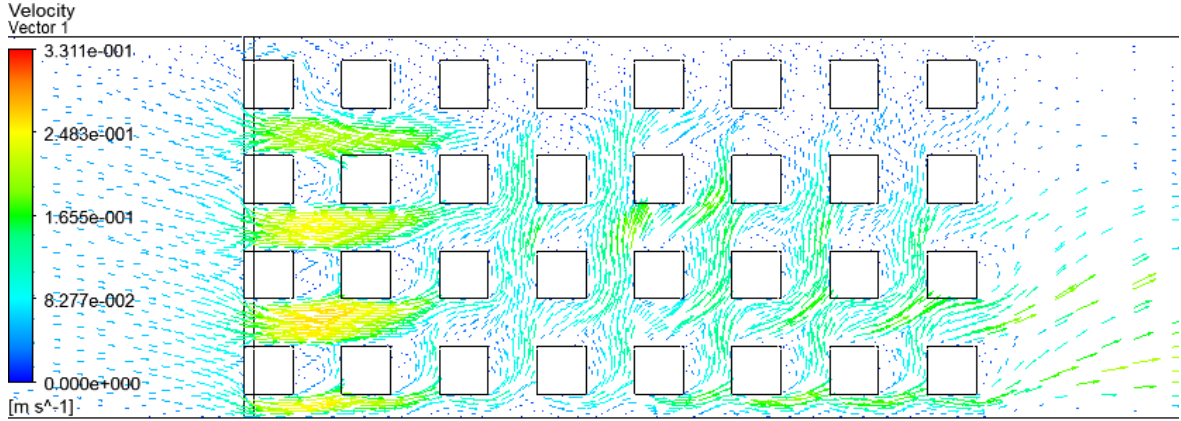


c) x-z düzlemi hız vektörleri, y=25mm, y=75mm, y=125mm, y=175mm

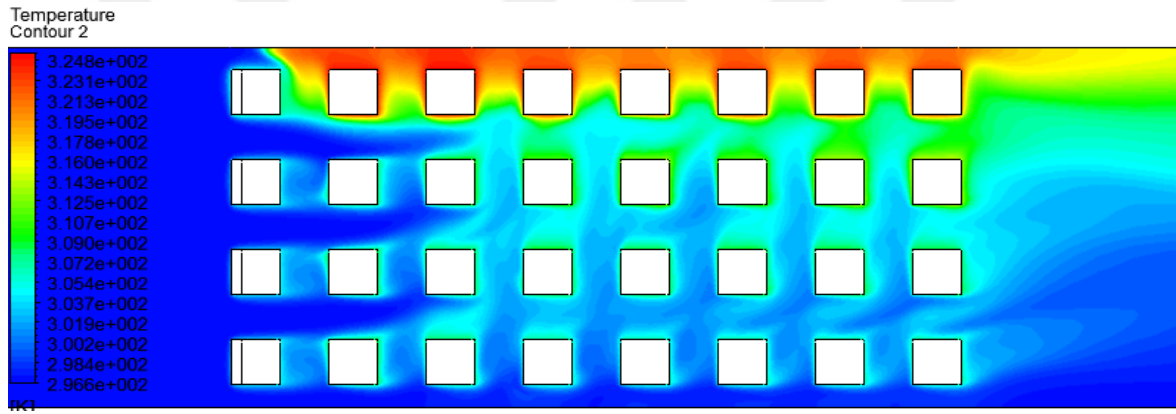


Şekil 6.41. Isıtıcı bölgesi girişinde plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $\alpha=60^\circ$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

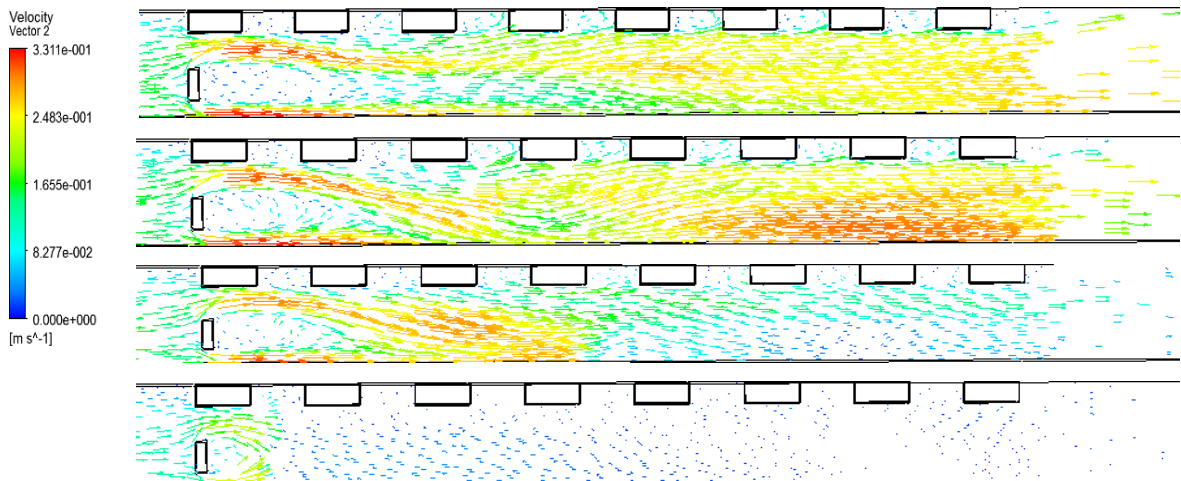
a) y-z düzlemi hız vektörleri,  $x=5\text{mm}$



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri,  $x=5\text{ mm}$



c) x-z düzlemi hız vektörleri,  $y=25\text{mm}$ ,  $y=75\text{mm}$ ,  $y=125\text{mm}$ ,  $y=175\text{mm}$



Şekil 6.42. Isıtıcı bölgesi girişinde plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $\alpha=0^\circ$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

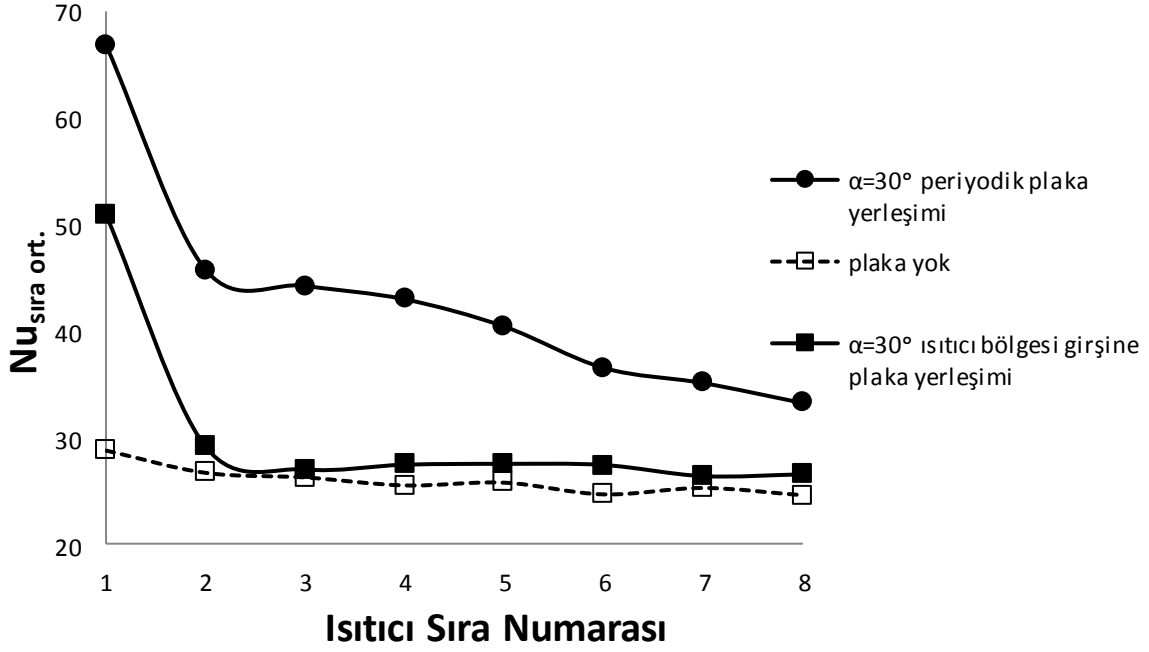
oluştugu görülmektedir (Şekil 6.41b). Şekil 6.29b ve 6.42b'den anlaşılacağı gibi  $\alpha=30^\circ$  ve  $\alpha=0^\circ$  değerleri için ısıtıcı sıralarındaki sıcaklık değerleri yaklaşık olarak aynı kalmıştır. Tüm plaka açısı değerleri için x-z düzlemi hız vektörlerine bakıldığında kanal üst yüzeyine yaklaşıldıkça hava hızının azaldığı anlaşılmaktadır. Hava hızının azalması kanal üst yüzeyinde bulunan ısıtıcıların sıcaklıklarının artmasına sebep olmaktadır.

Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi durumunda plakasız duruma göre tüm  $Re$ ,  $Gr^*$  sayısı ve plaka açısı değerlerinde özellikle ilk iki ısıtıcı sırası için büyük oranda ısı transferi artışı gerçekleşerek ısıtıcı sıcaklıkları düşürülmüştür. Diğer ısıtıcı sıralarında da parametrelere bağlı olarak farklı oranlarda ısı transferi artışı gerçekleşmiştir. Tüm ısıtıcı sıraları düşünüldüğünde en yüksek ısı transfer artışı  $\alpha=60^\circ$  koşulu için gerçekleşmiştir.

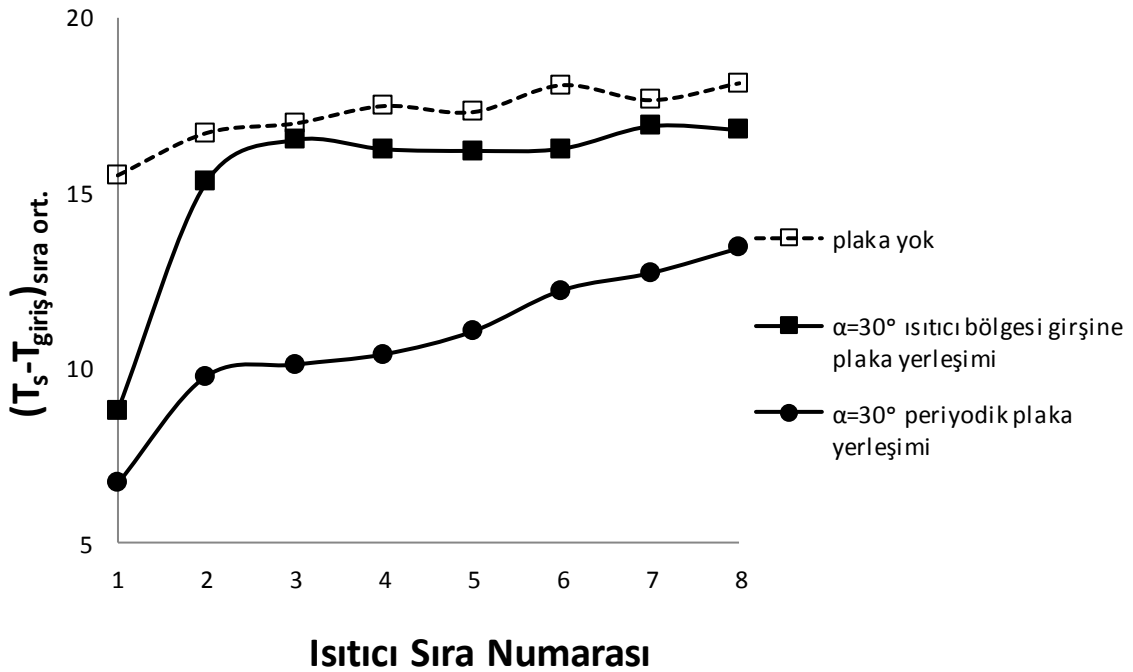
### 6.3.2. Periyodik plaka yerleşimi durumundaki sayısal sonuçlar

Isıtıcıların kanal yan yüzeylerinde bulunması durumunda plaka kullanımını içeren probleme ait ikinci durum ise tüm ısıtıcı sıralarında yüksek oranda ısı transferi artışının sağlanacağı öngörülen periyodik plaka yerleşim düzenidir (Şekil 4.5). Bu amaçla iki farklı plaka yerleşim düzeninde ortaya çıkan ısı transferi miktarları ve sıcaklık değerleri plakasız duruma ve birbirlerine göre karşılaştırılmıştır (Şekil 6.43 ve 6.44).  $Re=1000$  ve  $Gr^*=1,5 \times 10^8$  değerlerinde plakasız, ısıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi ve periyodik plaka yerleşimi durumlarında oluşan ısı transferi ve sıcaklık dağılımı değerleri Şekil 6.43 ve 6.44 ile verilmiştir. Farklı plaka yerleşim düzenlerinin kullanılması sonucu tüm ısıtıcı sıraları için plakasız duruma göre ortalama ısı transferi değerinde, ısıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi durumunda 17% oranında periyodik plaka yerleşimi durumunda ise 66% oranında artış olduğu görülmektedir.

Periyodik plaka yerleşimi ısı transferi miktarını artırmasının yanında akışı yalnızca plaka ve ısıtıcılar arasına yönlendirmesi nedeni ile kanal içerisindeki akış direncini de artırmıştır. Bu durum belirli bir hava hızı değeri için plakanın olmadığı ve ısıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşiminin yapıldığı koşullarına göre teorik fan gücü değerinin ( $N_{fan}$ ) büyük ölçüde yükselmesine sebep olmuştur (Şekil 6.45). Şekil 6.45'de tüm durumlar için verilmiş olan fan gücü değerlerinin birbirine göre değişkenlik göstermesine rağmen her bir durum için tek başına değerlendirildiğinde oldukça düşük değerlerde oldukları görülmektedir. Bu nedenle periyodik plaka yerleşim düzeninin tercih edilmesi soğutma koşulları açısından

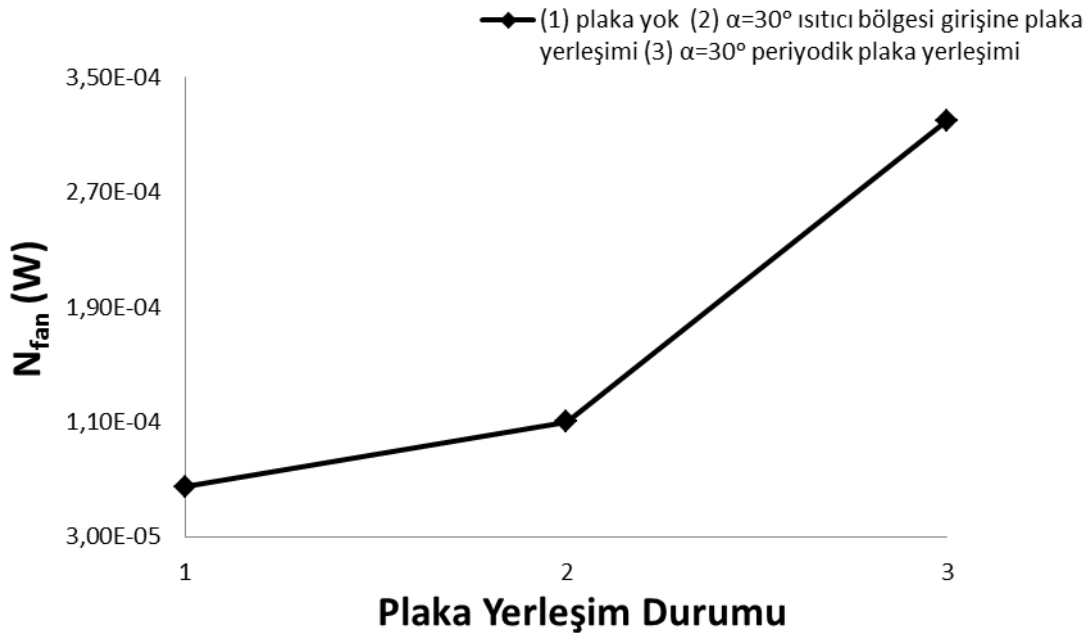


Şekil 6.43. Plakalı ve plakasız durumlarda farklı yerleşim düzenleri için sıra ortalama Nu sayısı değerleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )



Şekil 6.44. Plakalı ve plakasız durumlarda farklı yerleşim düzenleri için sıra ortalama  $T_s - T_{giriş}$  değerleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

değerlendirildiğinde daha uygun olmaktadır.



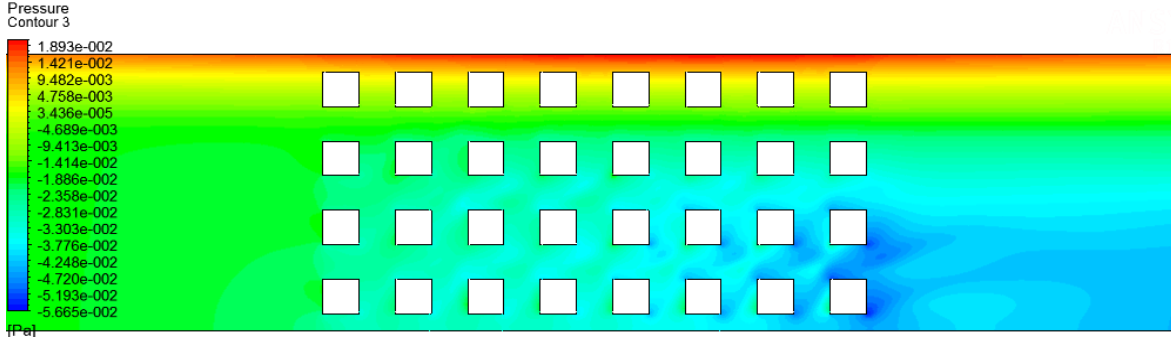
Şekil 6.45. Plakasız ve farklı plaka yerleşim düzenleri için teorik fan gücü değerleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

Şekil 6.45’de üç farklı durum için verilen teorik fan gücü değerlerinin hesaplanmasında kullanılan kanal giriş ve çıkışındaki basınç farkı değerleri Çizelge 6.1’de verilmiştir. Teorik fan gücü değişimlerinden de anlaşıldığı gibi en yüksek basınç kaybının periyodik plaka yerleşimi durumunda olduğu görülmektedir.

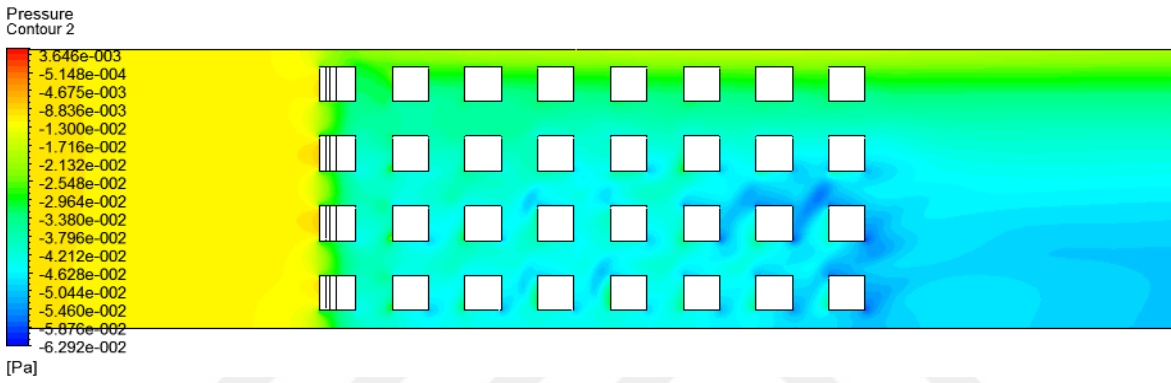
Çizelge 6.1. Kanal giriş ve çıkışında farklı plaka yerleşim durumları için oluşan basınç farkı değerleri

| Plaka Yerleşim Durumu  | $\Delta P$ (Pa) |
|--|-----------------|
| Plaka Yok  | 0,028           |
| Isıtıcı Bölgesi Girişine Plaka Yerleşimi ( $\alpha=30^\circ$ ) | 0,047           |
| Periyodik Plaka Yerleşimi ( $\alpha=30^\circ$ )                | 0,147           |

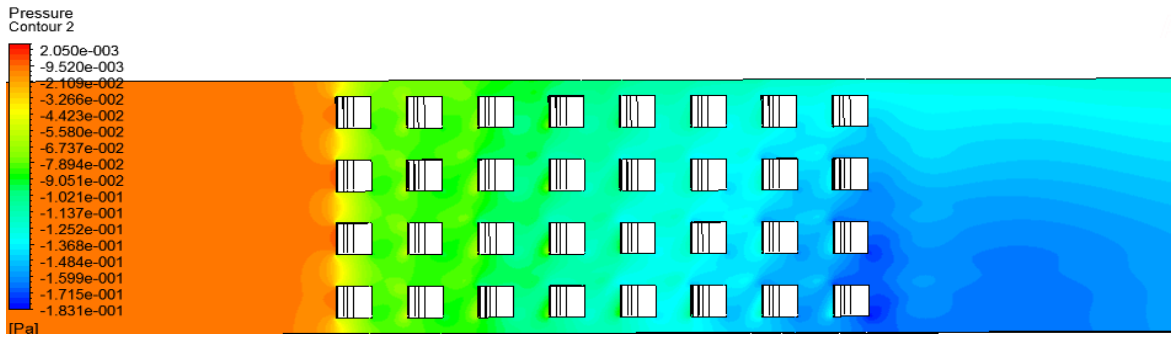
Şekil 6.46-6.48’de ise sırası ile plakasız, ısıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi ve periyodik plaka yerleşimi durumlarında oluşan basınç kontörleri verilmiştir. Plakanın olmadığı ve tüm plaka yerleşim düzenlerinde kanal girişinden çıkışına doğru basınç kayıplarının arttığı görülmektedir.



Şekil 6.46. Plakasız durumdaki basınç kontörleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1,5 \times 10^8$ ,  $H/W=1/2$ )



Şekil 6.47. Isıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi durumundaki basınç kontörleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1,5 \times 10^8$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

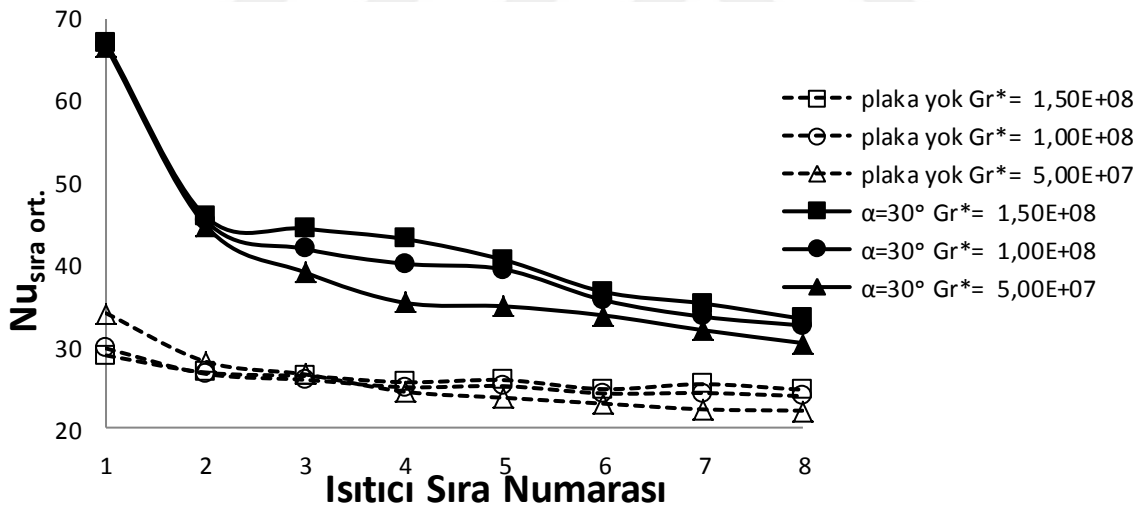


Şekil 6.48. Periyodik plaka yerleşimi durumundaki basınç kontörleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1,5 \times 10^8$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

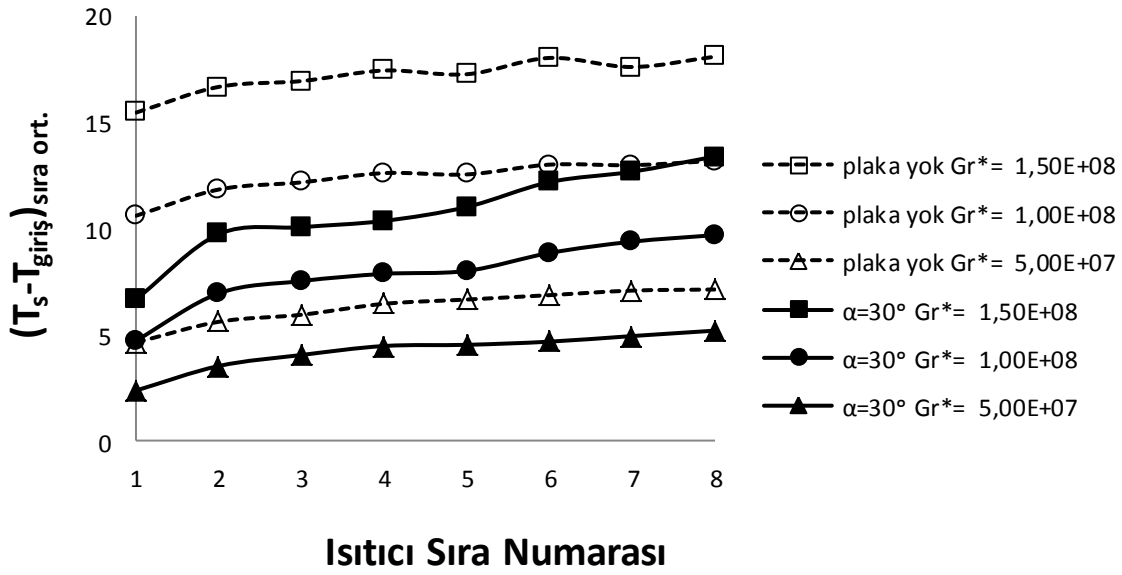
Çalışmanın bu aşamasından sonra periyodik ve ısıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi sonucunda plakasız duruma göre oluşan ısı transferi artışları göz önüne alınarak ısı transferi artışının en yüksek olduğu durum olan periyodik plaka yerleşimi için Çizelge 4.5-4.8'de verilen sayısal çalışma programına göre parametrik çalışma gerçekleştirilmiştir. Isı transferi ve sıcaklık dağılımları, değişken  $Re$ ,  $Gr^*$  ve  $Ri$  sayılarında plaka açısının  $\alpha=30^\circ, 60^\circ, 0^\circ$ , plakalar arası boşluk mesafesinin kanal yüksekliğine oranının  $L_p/H=3/20$ ,

1/10, 1/20 ve kanal yüksekliğinin kanal genişliğine oranının  $H/W=1/2$  olduğu durumlar için grafikler halinde sunulmuştur.

Şekil 6.49 ve 6.50'de  $\alpha=30^\circ$  açılı ile periyodik plaka yerleşimi sonucunda plakasız durum ile karşılaştırılabilir olarak  $Gr^*$  sayısına bağlı sıra ortalama  $Nu$  sayısı ve sıcaklık dağılımları görülmektedir. İlk iki ısıtıcı sırası için  $Nu$  sayısı değerleri plaka yerleşimi ile birlikte  $Gr^*$  sayısının değişimine bağlı olarak belirgin bir farklılık göstermemektedir. Diğer ısıtıcı sıralarında ise  $Gr^*$  sayısının azalması sonucunda ısı transfer miktarının da düştüğü görülmektedir. Isıtıcı sıcaklıkları incelendiğinde (Şekil 6.50) plakasız durum için ilk ısıtıcı sırasından son ısıtıcı sırasına doğru sıcaklıklar artmıştır. Plakalı durumda ise  $Gr^*=1,5 \times 10^8$  değeri için 3. ısıtıcı sırasında sıcaklıklar düşmüş sonrasında ise son ısıtıcı sırasına kadar artarak devam etmiştir.  $Gr^*$  sayısının diğer değerlerinde ise 5. ısıtıcı sırasında oluşan az miktardaki sıcaklık düşüşü göz ardı edildiğinde son ısıtıcı sırasına kadar ısıtıcı sıcaklıkları yükselmiştir.



Şekil 6.49. Periyodik plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama  $Nu$  sayısının  $Gr^*$  sayısına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )



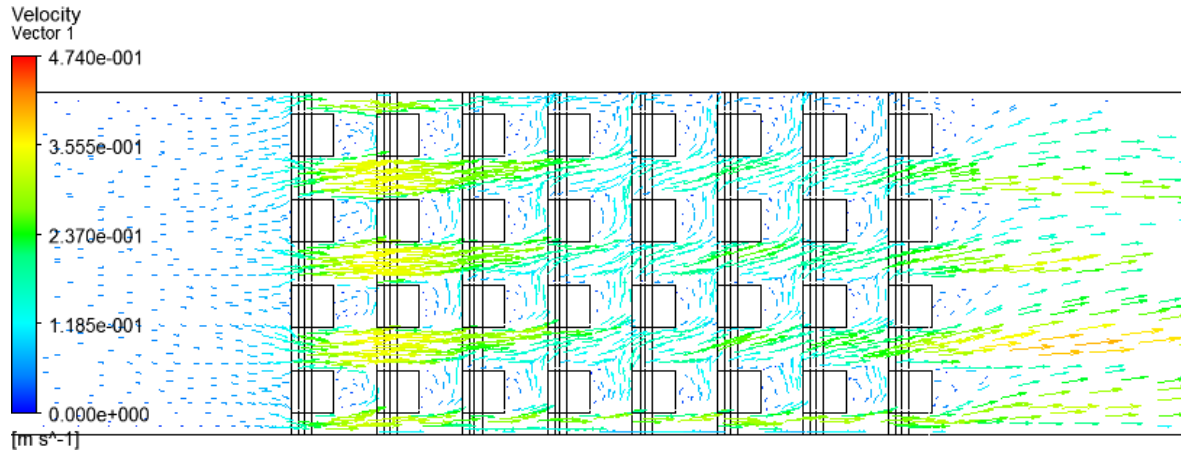
Şekil 6.50. Periyodik plakalı ve plakasız durumlardaki sıra ortalama  $T_s-T_{giriş}$  değerlerinin  $Gr^*$  sayısına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

Periyodik plaka yerleşimi ve plakasız durumlar karşılaştırıldığında ise en yüksek ısı transfer artışının doğal konveksiyon etkisinin baskın olduğu  $Gr^*=1,5 \times 10^8$  ( $Ri=3,5$ ) değerinde gerçekleştiği görülmektedir.  $Gr^*$  sayısının  $Gr^* = 5 \times 10^7$  değerine düşürülmesi ile karışık konveksiyon koşulları oluşmuştur ( $Ri=1,3$ ). Karışık konveksiyonun ağırlıklı olduğu durumda ise plakalı ve plakasız durum şartlarındaki sıcaklık farkı azalarak ısı transfer artış miktarının da azalmasına sebep olmuştur.

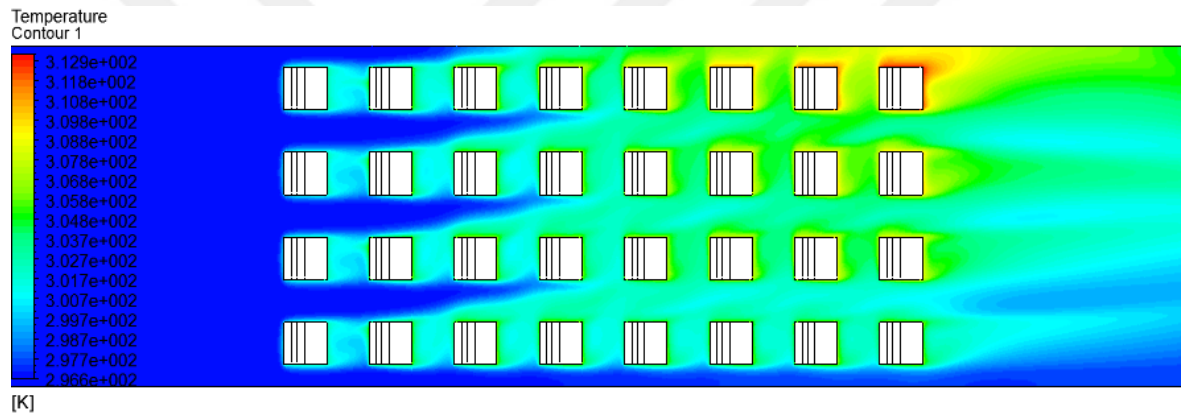
$Gr^*$  sayısı değişimine bağlı olarak periyodik plaka yerleşimi sonucunda oluşan hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri ise Şekil 6.51 ve 6.52 ile verilmiştir.  $Gr^*=1,5 \times 10^8$  değeri için y-z düzlemi hız vektörlerine bakıldığında (Şekil 6.51a) sıcaklık farkından kaynaklanan ikincil akışın etkisinin plakasız duruma göre kıyaslandığında (Şekil 6.30) azaldığı anlaşılmaktadır. Periyodik yerleşim ile birlikte tüm ısıtıcı sıralarındaki hava hızının artması ile birlikte kanal üst yüzeyine yönelen hava miktarı düşmüştür. Bu durum üst yüzeye yakın bölgelerdeki ısıtıcı sıcaklıklarının azalarak ısı transfer miktarının artmasını sağlamıştır (Şekil 6.51b). Aynı şekilde  $Gr^* = 5 \times 10^7$  değeri için de y-z düzlemi hız vektörleri incelendiğinde (Şekil 6.52a) plakasız duruma göre (Şekil 6.32) ısınarak yükselen hava miktarının azalması ısıtıcı sıcaklıklarının düşmesini sağlamıştır (Şekil 6.52b).



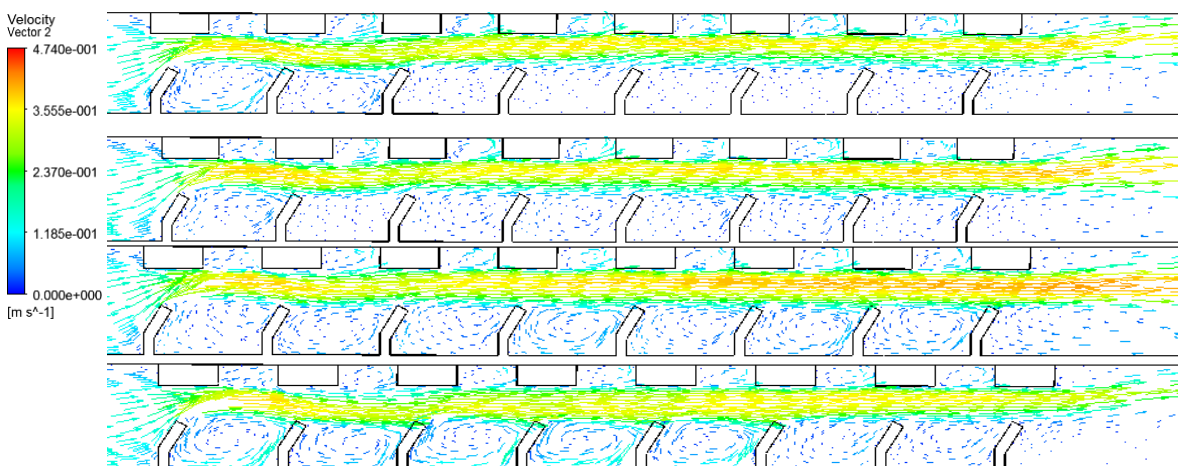
a) y-z düzlemi hız vektörleri,  $x=5\text{mm}$



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri,  $x=5\text{ mm}$

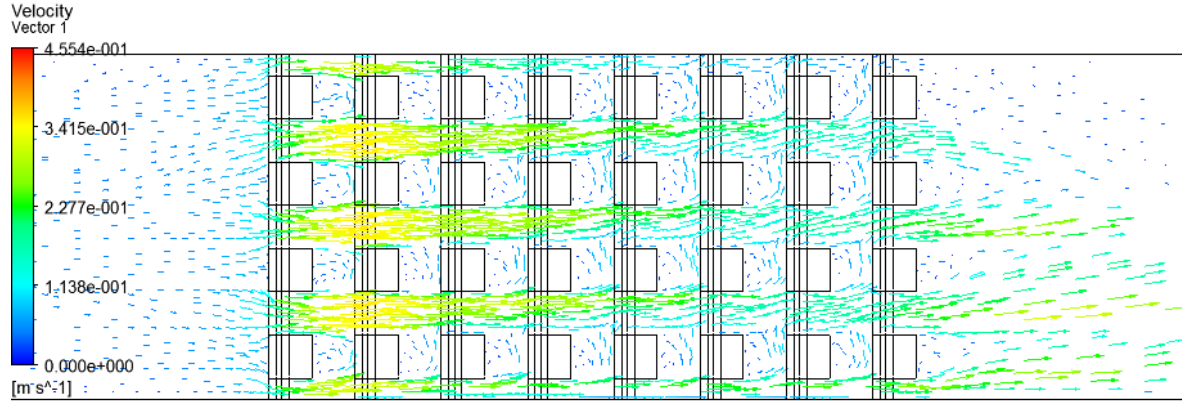


c) x-z düzlemi hız vektörleri,  $y=25\text{mm}$ ,  $y=75\text{mm}$ ,  $y=125\text{mm}$ ,  $y=175\text{mm}$

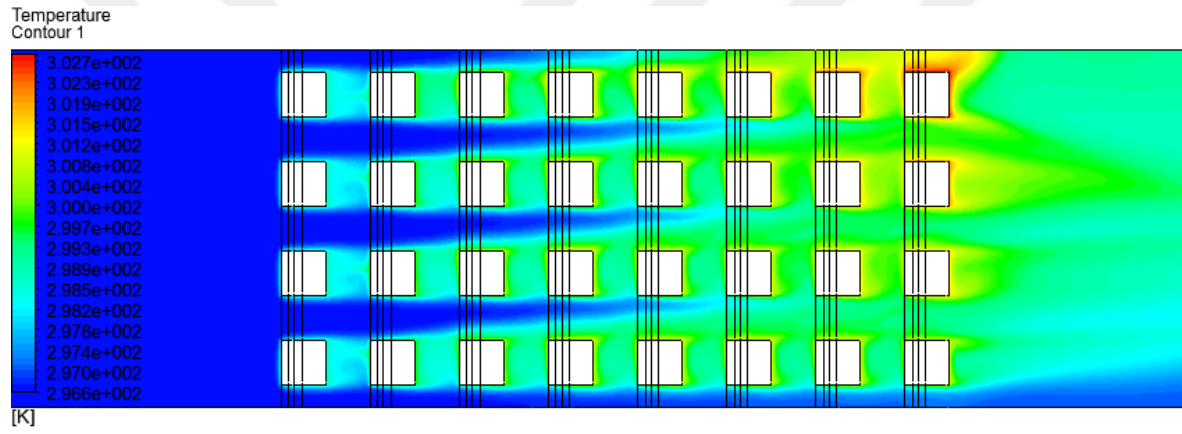


Şekil 6.51. Periyodik plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

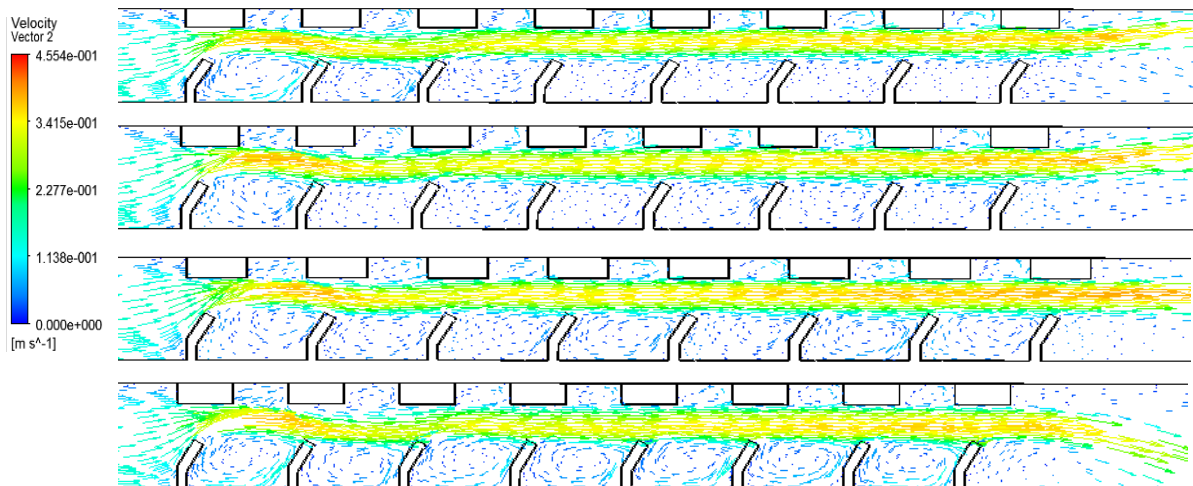
a) y-z düzlemi hız vektörleri,  $x=5\text{mm}$



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri,  $x=5\text{ mm}$



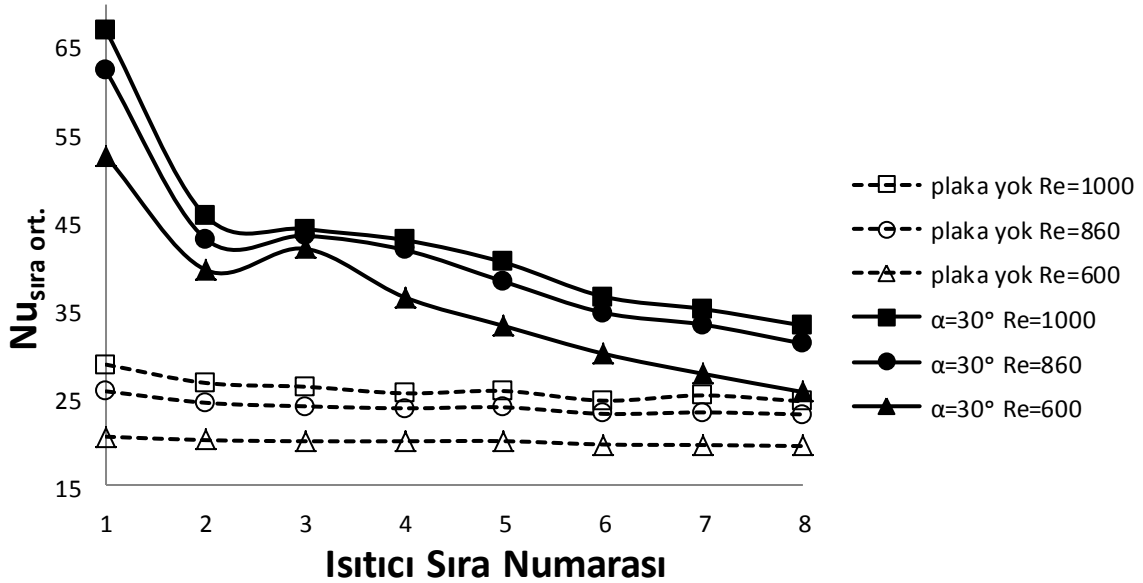
c) x-z düzlemi hız vektörleri,  $y=25\text{mm}$ ,  $y=75\text{mm}$ ,  $y=125\text{mm}$ ,  $y=175\text{mm}$



Şekil 6.52. Periyodik plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=5 \times 10^7$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

$Gr^*=1,5 \times 10^8$  ve  $Gr^*=5 \times 10^7$  değerlerinin her ikisi için x-z düzlemi hız vektörlerine bakılarak (Şekil 6.51c ve 6.52c) kanal üst yüzeyine doğru hava hızının düşmesinin periyodik plaka yerleşimi ile birlikte belirli seviyede önlendiği anlaşılmaktadır. Bu durum üst yüzeye yakın ısıtıcıların daha etkin şekilde soğutulmasına olanak sağlamıştır. Ayrıca hava hareketinin ısıtıcı yüzeyine çarparak kanal orta kısmına yönlenmesine engel olunarak ısıtıcıların soğutulmasında etkili hava akış miktarı da artırılmıştır.

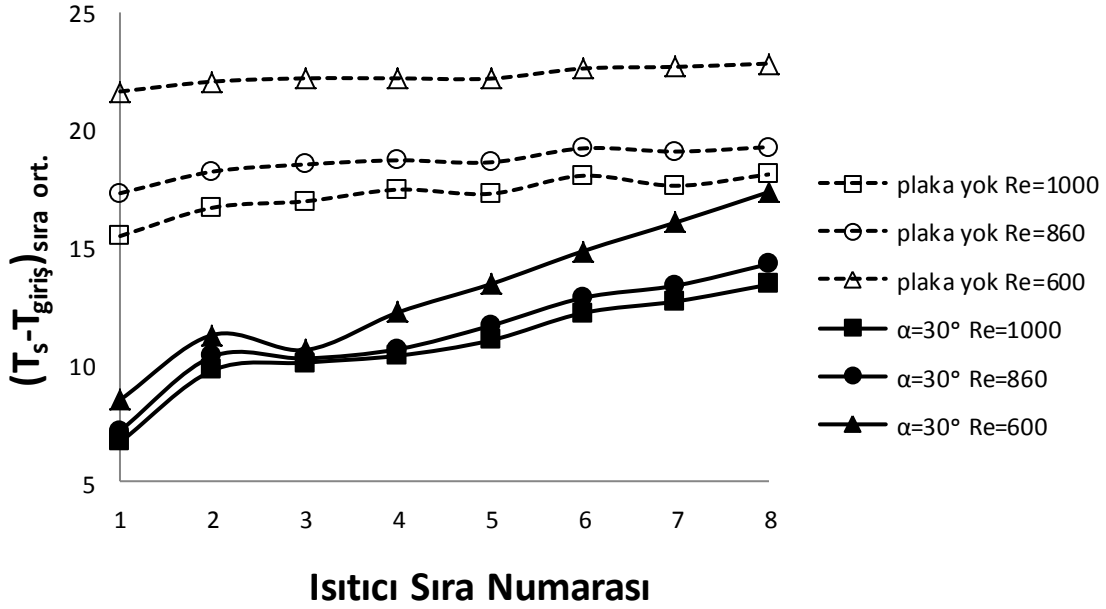
Hava hızı değişimine bağlı olarak plakalı ve plakasız durumlardaki ısı transferi ve sıcaklık dağılımı değerleri ise Şekil 6.53 ve 6.54 ile verilmiştir. Plakalı ve plakasız durumların her ikisinde de Re sayısının azalması ısıtıcı sıcaklıklarını artırarak ısı transferi miktarının düşmesine neden olmuştur. Isıtıcı sıcaklıkları plakasız durumda tüm Re sayısı değerleri için ilk ısıtıcı sırasından son ısıtıcı sırasına doğru azalma eğilimi göstermişlerdir.



Şekil 6.53. Periyodik plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Gr^*=1,5 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

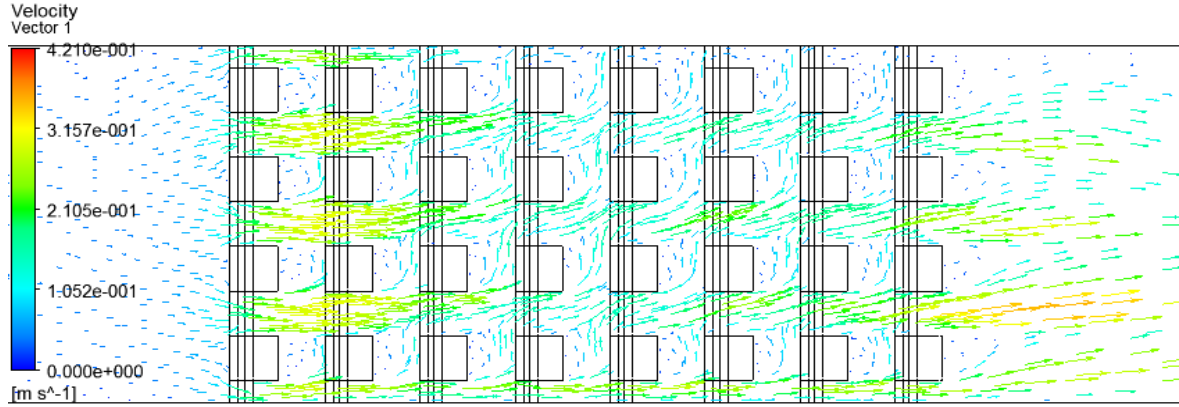
Periyodik plaka yerleşiminde ise 2. ısıtıcı sırasına kadar sıcaklıklar artmış, 3. ısıtıcı sırasında azalma meydana geldikten sonra tekrar son ısıtıcı sırasına doğru artış göstermiştir. Periyodik plaka yerleşimi sonucunda Re sayısı değişimi göz önüne alındığında en fazla ısı transfer artışının Re=600 değerinde gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 6.53). Re=600 değerinde ısıtıcı sıcaklıkları en yüksek değerine ulaşmasına rağmen plakasız durumda meydana gelen tamamı ile doğal konveksiyon etkili akışın periyodik plaka kullanımı

sonucunda karışık konveksiyon koşullarına yaklaşması ısı transferi artışının diğer Re sayısı değerlerinde oluşan ısı transferi artış miktarlarına göre yüksek olmasını sağlamıştır.

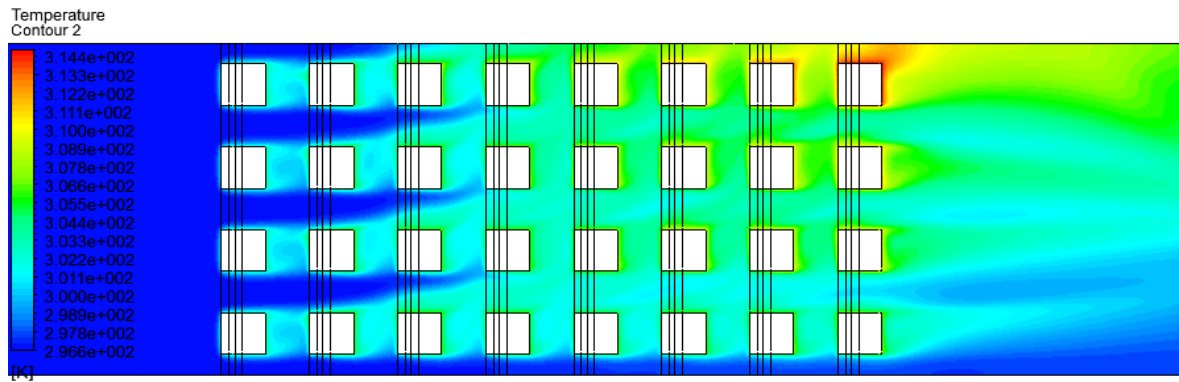


Şekil 6.54. Periyodik plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama  $T_s-T_{giriş}$  değerlerinin Re sayısına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Gr^*=1,5 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

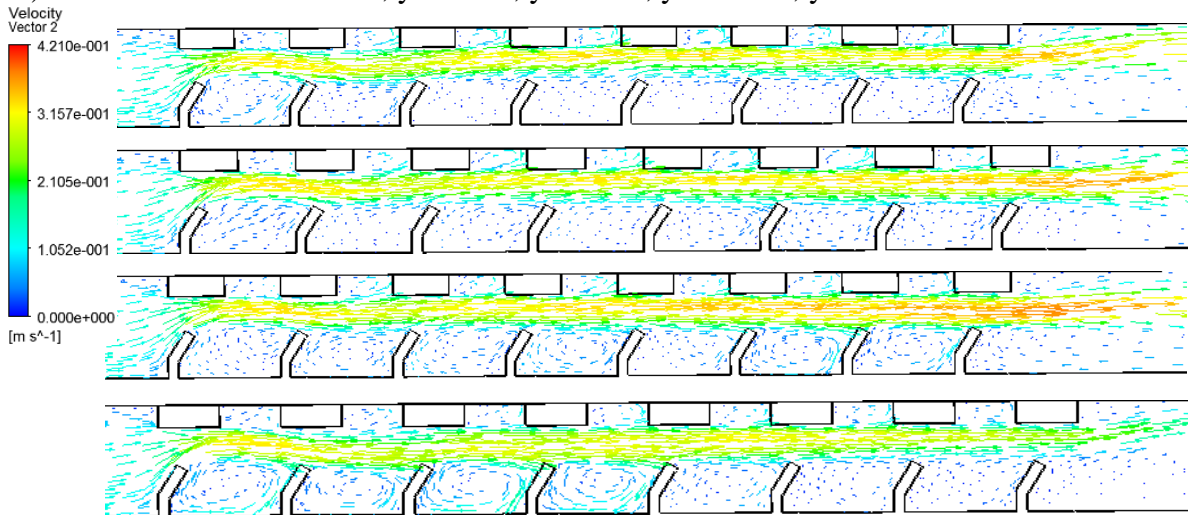
Plaka açısının  $\alpha=30^\circ$  yerleşimi durumunda Re Sayısı değişimi sonuçlarından elde edilen verilere göre düşük Re sayısı değerleri için periyodik plaka yerleşimi ile birlikte ısı transferi artışının daha yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır. Belirli bir plaka açısı ve  $Gr^*$  sayısı değerinde hava hızının değişimine bağlı olarak oluşan plakalı durumdaki y-z düzlemi hız vektörleri Şekil 6.51a, 6.55a ve 6.56a'ya bakılarak incelenebilir.  $Re=860$  değerinde  $Re=1000$  değerine oranla sıcaklık farkından kaynaklı ikincil akışın etkisinin arttığı gözlemlenmektedir.  $Re=1000$  değeri için 3. ısıtıcı sırasından sonra kanal üst yüzeyine yönlenecek hava miktarında artış görülürken (Şekil 6.51a) Re sayısının  $Re=860$  değerine düşmesi ile birlikte 2. ısıtıcı sırasından sonra artış görülmeye başlanmıştır (Şekil 6.55a). Bu durum üst yüzeye yakın ısıtıcı sıcaklıklarını artırmış (Şekil 6.55b) ve ısı transferi miktarını  $Re=1000$  koşulunda oluşan değerlerine göre düşürmüştür.  $Re=600$  değerindeki y-z düzlemi hız vektörleri incelendiğinde ise (Şekil 6.56a) doğal konveksiyonun artan etkisi ikinci ısıtıcı sırasından itibaren ısınarak yükselen hava miktarının da artışı ile açıkça görülmektedir. Böylece kanal üst yüzeyine yönlenecek sıcak a) y-z düzlemi hız vektörleri,  $x=5\text{mm}$



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri, x=5 mm

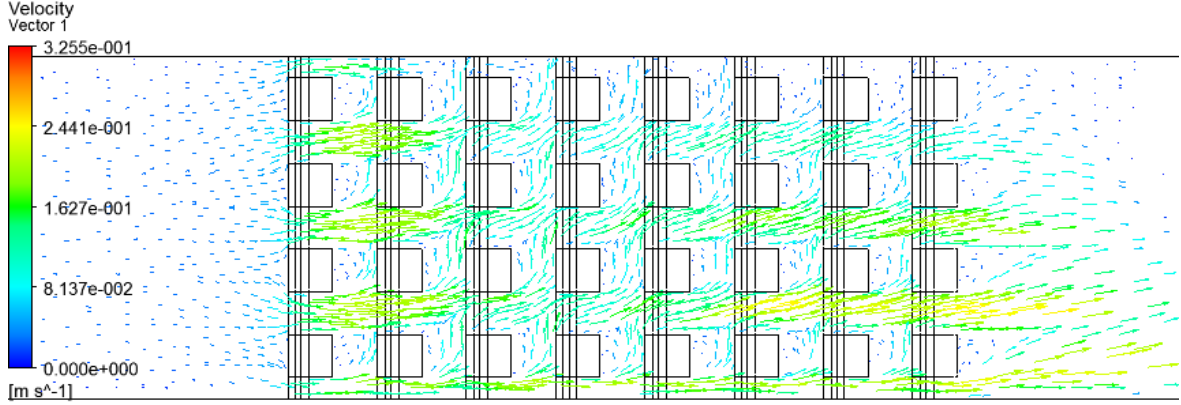


c) x-z düzlemi hız vektörleri, y=25mm, y=75mm, y=125mm, y=175mm

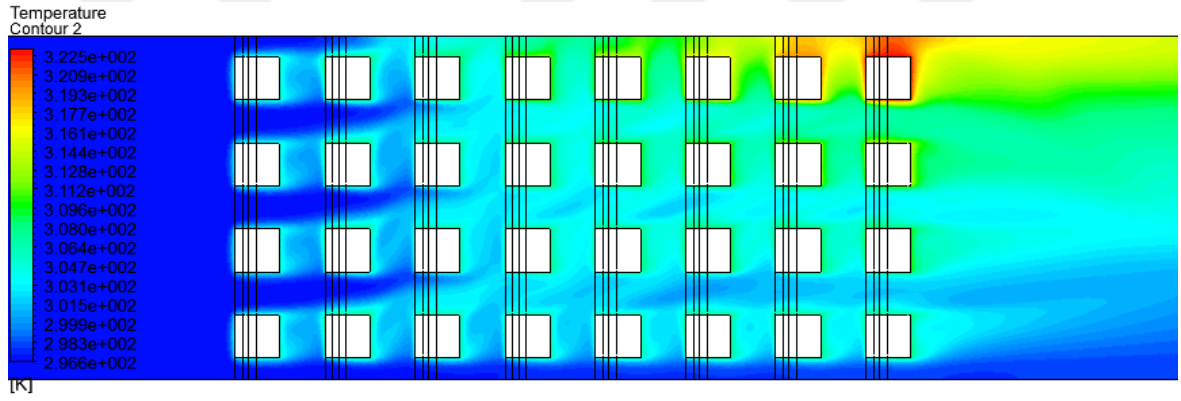


Şekil 6.55. Periyodik plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=860$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

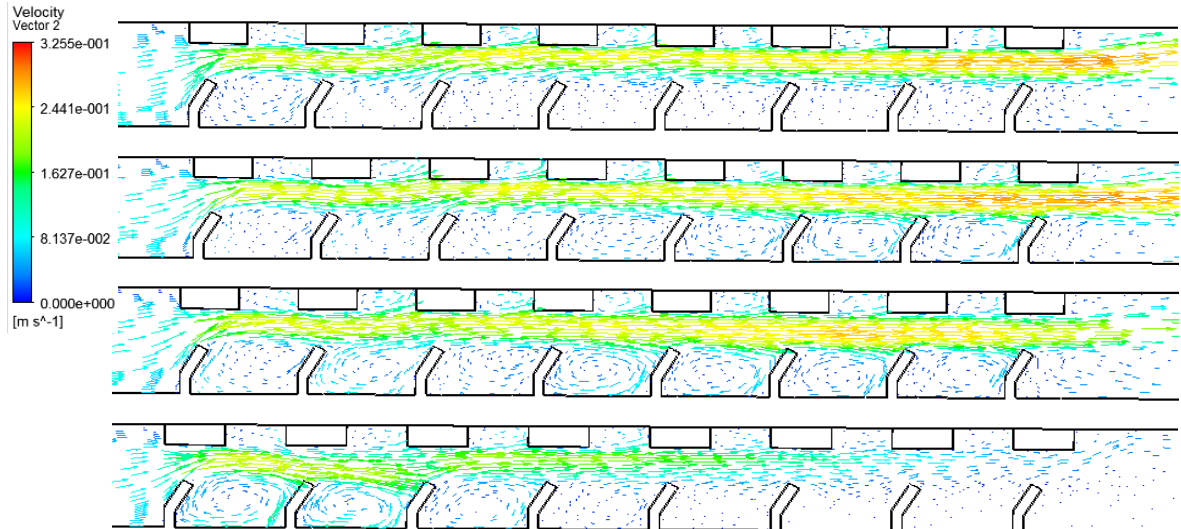
a) y-z düzlemi hız vektörleri,  $x=5\text{mm}$



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri,  $x=5\text{ mm}$



c) x-z düzlemi hız vektörleri,  $y=25\text{mm}$ ,  $y=75\text{mm}$ ,  $y=125\text{mm}$ ,  $y=175\text{mm}$

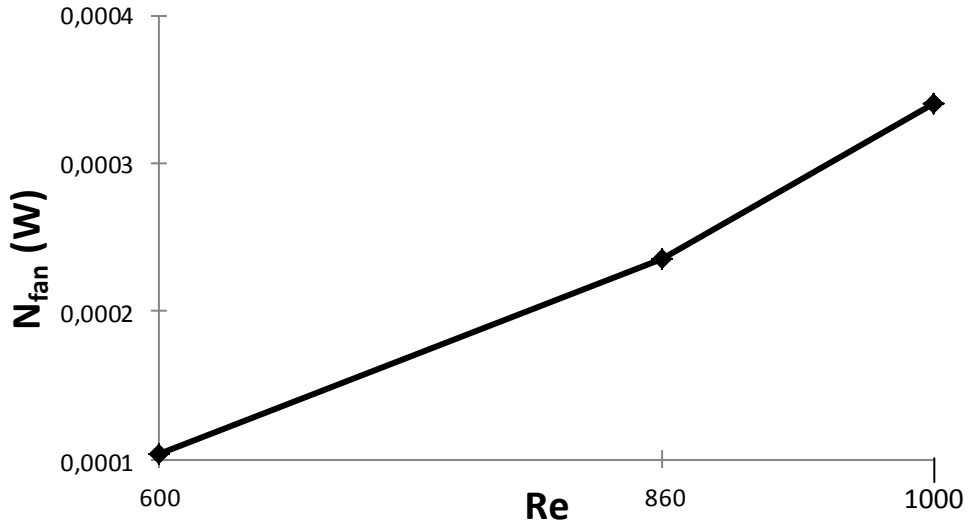


Şekil 6.56. Periyodik plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=600$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

hava ısıtıcı sıcaklıklarını diğer Re sayısı değerlerinde oluşan sıcaklıklara nispeten daha fazla artırmıştır (Şekil 6.56b). Plakasız durumdaki ısıtıcı sıcaklıkları göz önüne alındığında ise Re sayısı değerlerinin tümünde periyodik plaka yerleşimi ile birlikte ısıtıcı sıcaklıklarında büyük oranda azalma meydana gelmiştir.

Şekil 6.51c, 6.55c ve 6.56c de ise plakalı durum için değişken Re sayısı değerlerinde oluşan x-z düzlemi hız vektörleri verilmiştir. Tüm Re sayısı değerleri için kanal alt yüzeyine yakın noktada plaka ve ısıtıcı yüzeyi arasından geçen hava hızının en yüksek değerine ulaştığı görülmektedir. Kanal üst yüzeyine doğru yaklaşılması durumunda ise hava hızı değerleri düşmektedir. Re sayısının azalarak doğal konveksiyon etkili akış koşullarının artışı sonucunda üst yüzeye yakın noktalardaki hava hızının düşüşü daha belirgin bir hale gelmiştir. Re=600 değeri için x-z düzlemi hız vektörlerine bakıldığında (Şekil 6.56c) kanal üst yüzeyine en yakın noktadaki ısıtıcılar için 2. ısıtıcı sırasından itibaren hava hızının düşmekte olduğu açıkça görülmektedir. Son ısıtıcı sıralarına doğru hava hızının etkisini kaybetmesi ısıtıcı bölgesi çıkışında üst yüzeye yakın bölgedeki sıcaklıkların en yüksek değerlere ulaşmasına sebep olmaktadır (Şekil 6.56b). Bu nedenle düşük Re sayısı değerlerinde soğutma yapılması durumunda son ısıtıcı sırasındaki ısıtıcı sıcaklıklarının sistemde izin verilen en yüksek değerler göz önünde bulundurularak kontrol altında tutulması gerekmektedir.

Periyodik plaka yerleşimi ısıtıcılardan olan ısı transferi miktarını plakasız duruma göre büyük oranda artırmasının yanında daha önce bahsedildiği gibi hava akışındaki direnç artışını karşılayacak şekilde teorik fan gücünü de artırmaktadır. Teorik fan gücünün artmasına sebep olan önemli faktörlerden bir diğeri ise Re sayısındaki değişimlerdir. Şekil 6.57'de görüldüğü gibi Re=600-1000 değerleri arasında fan gücü Re sayısının artışı ile birlikte yükselmektedir. Hava hızının artırılarak Re=1000 değerine ulaşılması durumunda Re=600 koşuluna göre teorik fan gücünde yaklaşık 3,5 kat artış meydana gelmiştir. Teorik fan gücü değişimleri göz önünde bulundurularak soğutulması istenilen sistem için yeterli şartların sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilip en uygun hava hızı değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 6.57'de farklı Re sayıları için verilen teorik fan gücü değerlerinin hesaplanmasında kullanılan kanal giriş ve çıkışındaki basınç farkı değerleri ise Çizelge 6.2'de verilmiştir. Çizelge 6.2'deki değerler incelendiğinde hava hızının artışı ile birlikte basınç kayıplarının da arttığı görülmektedir.

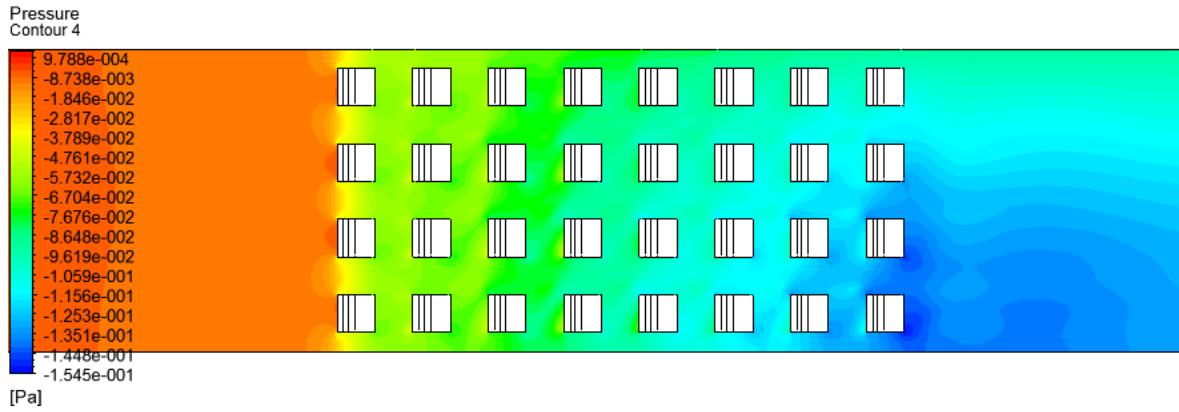


Şekil 6.57. Periyodik plaka yerleşiminde değişken Re sayıları için teorik fan gücü değerleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $\alpha=30^\circ$ ,  $Gr^*=1,5 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

Çizelge 6.2. Kanal giriş ve çıkışındaki farklı Re sayısı değerleri için oluşan basınç farkı değerleri

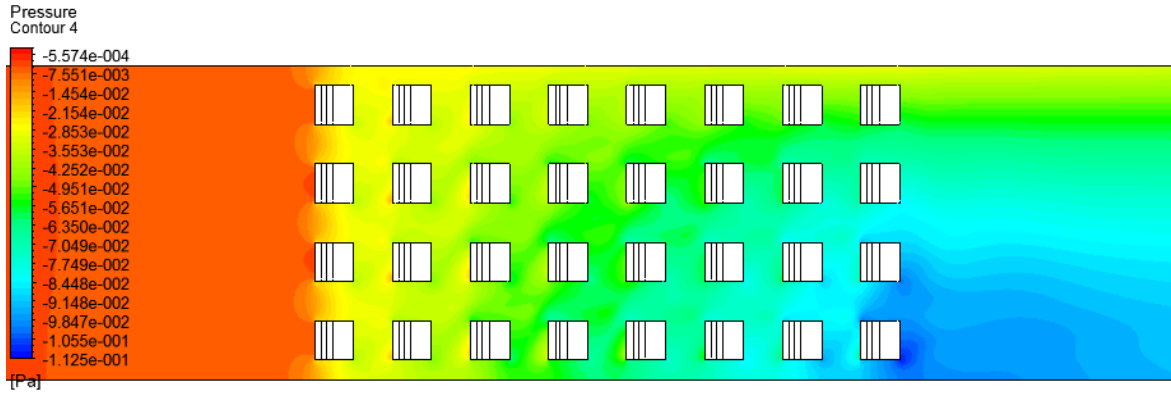
| Re Sayısı | $\Delta P$ (Pa) |
|-----------|-----------------|
| 1000      | 0,147           |
| 860       | 0,118           |
| 600       | 0,074           |

Re sayısı değişimine bağlı olarak oluşan basınç kontörleri Şekil 6.48, 6.58 ve 6.59'a bakılarak incelenebilir.



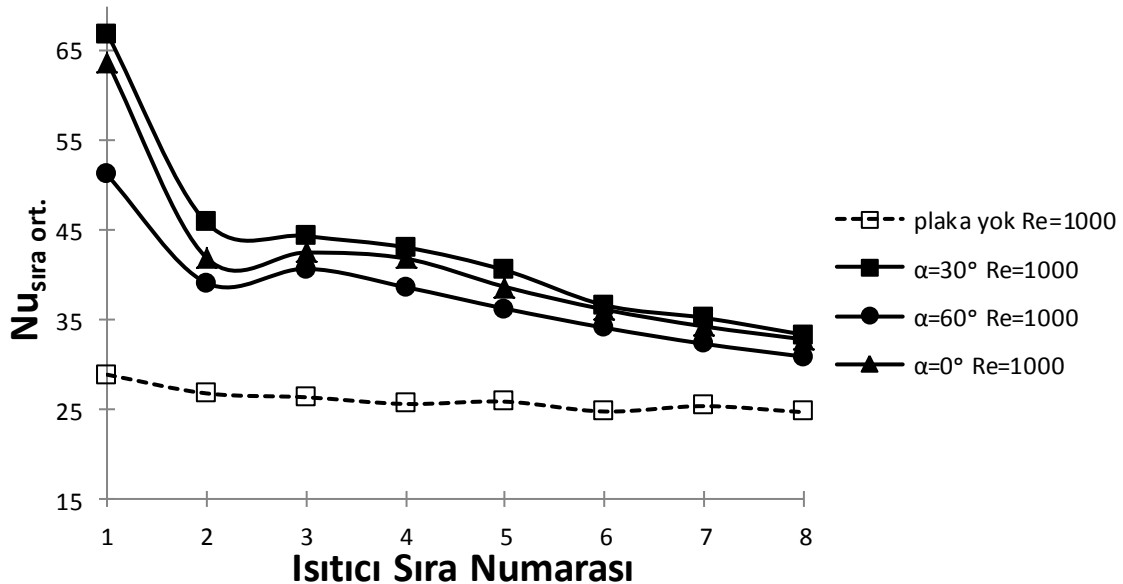
Şekil 6.58. Periyodik plaka yerleşimi durumundaki basınç kontörleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=860$ ,  $Gr^*=1,5 \times 10^8$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )



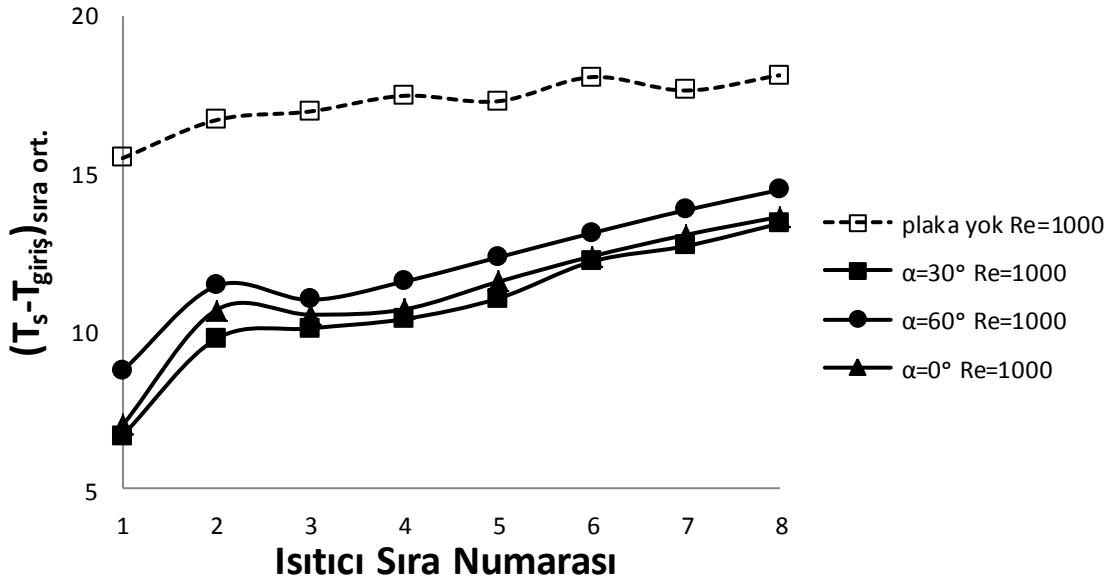


Şekil 6.59. Periyodik plaka yerleşimi durumundaki basınç kontörleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=600$ ,  $Gr^*=1,5 \times 10^8$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

Kanal içerisindeki ısı transferi ve sıcaklık dağılımı için plaka yerleşim açısı ( $\alpha$ ) önemli rol oynayan diğer parametrelerden bir tanesidir. Şekil 6.60'da üç farklı plaka açısı için periyodik plaka yerleşimli ve plakasız durumlardaki sıra ortalama Nu sayısı dağılımları görülmektedir. Her bir açı değeri için sıra ortalama Nu sayısı dağılımının aynı karakteristikte olduğu göze çarpmaktadır. Isı transferi değeri 2. ısıtıcı sırasına kadar azalmakta, 3. ısıtıcı sırasında bir miktar yükselmekte sonrasında son ısıtıcı sırasına kadar tekrar azalarak devam etmektedir.



Şekil 6.60. Periyodik plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama Nu sayısının plaka açısına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Gr^*=1,5 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

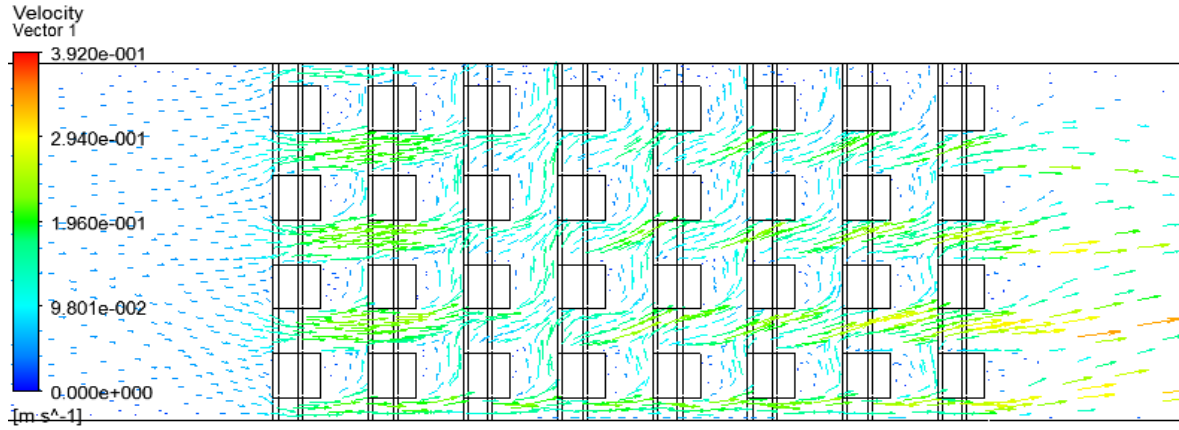


Şekil 6.61. Periyodik plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama  $T_s-T_{giriş}$  değerlerinin plaka açısına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

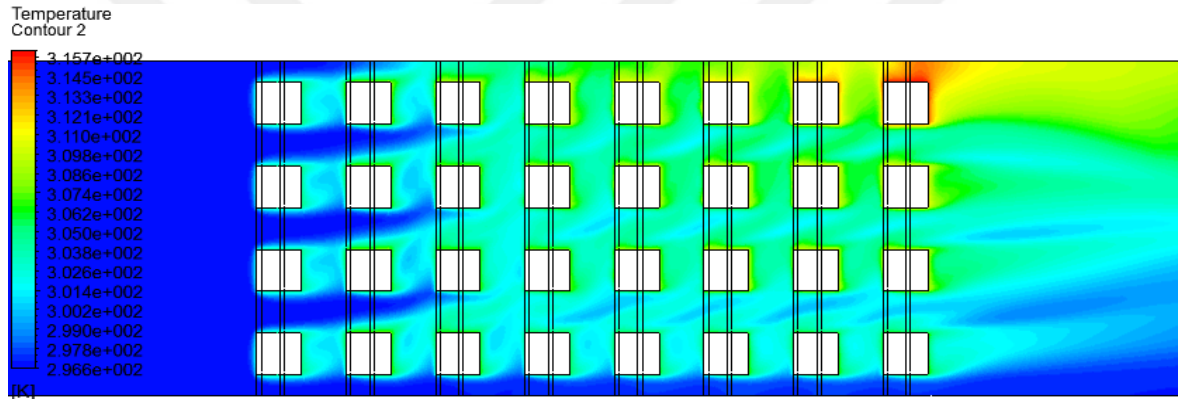
Plaka açısı değişimleri sonucu plakasız duruma göre oluşan ısı transferi artış değerleri incelendiğinde en yüksek artışın  $\alpha=30^\circ$ 'lik açı ile plaka yerleşimi durumunda olduğu anlaşılmaktadır. En yüksek ısı transfer artışlarının olduğu diğer açı değerleri ise sırası ile  $\alpha=0^\circ$  ve  $\alpha=60^\circ$ 'dir. Isı transferi değerlerine paralel olarak oluşan ısıtıcı sıcaklık değerleri ise Şekil 6.61'de verilmiştir. Tüm plaka açısı değerlerinde ısıtıcı sıcaklıkları 2. ısıtıcı sırasına kadar artmaktadır. 3. ısıtıcı sırasında sıcaklık değerlerinde bir miktar düşme meydana gelmiş sonrasında ise son ısıtıcı sırasına kadar artarak devam etmiştir.

Plaka açısının değişimi sonucunda oluşan ısı transferi ve sıcaklık dağılımının nedenleri Şekil 6.51, 6.62 ve 6.63'deki hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri incelendiğinde daha iyi anlaşılmaktadır. Plaka ve ısıtıcı yüzeyi arasındaki boşluk mesafesinin artırıldığı  $\alpha=60^\circ$  değerinde Ri Sayısı  $Ri=3,9$  değerini almış ve sıcaklık farkından kaynaklanan ikincil akışın etkisi artmıştır. Böylece y-z düzlemi hız vektörlerinden de anlaşıldığı gibi (Şekil 6.62a)  $\alpha=30^\circ$  koşuluna göre kanal üst yüzeyine doğru ısınarak yükselen hava miktarı artmıştır. Böylece üst yüzeye yakın konumdaki ısıtıcı sıcaklıkları yükselerek  $\alpha=30^\circ$  plaka yerleşimi koşuluna nispeten ısı transferi miktarını düşürmüştür. Plaka yerleşiminin  $\alpha=0^\circ$  olacak şekilde değiştirilmesi durumunda ise  $\alpha=60^\circ$  koşuluna göre  $\alpha=30^\circ$ 'deki ısı transferi değerine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

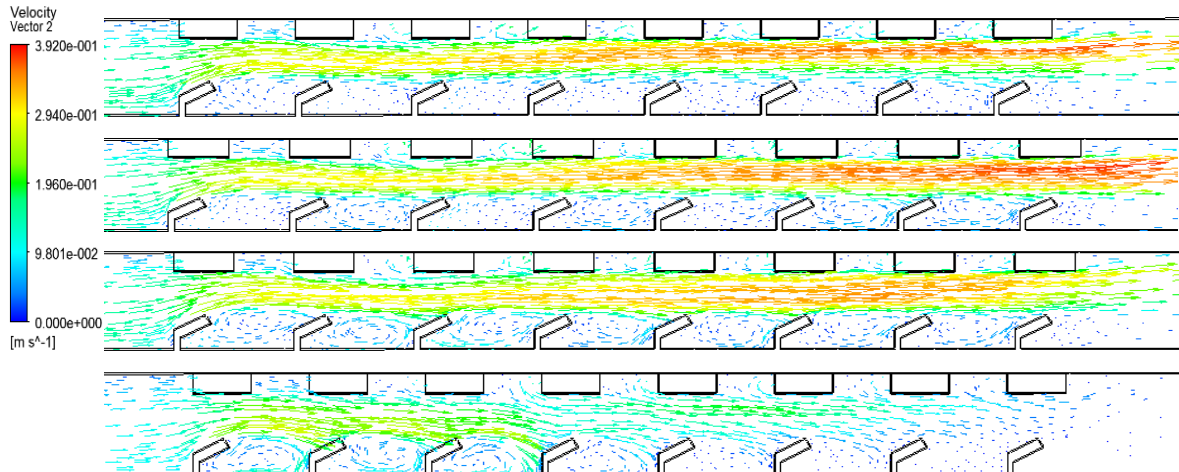
a) y-z düzlemi hız vektörleri, x=5mm



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri, x=5 mm

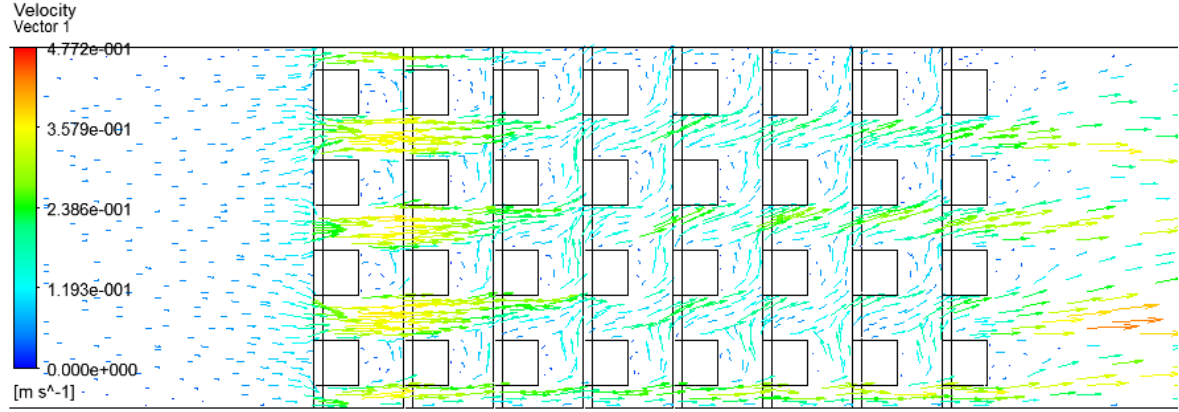


c) x-z düzlemi hız vektörleri, y=25mm, y=75mm, y=125mm, y=175mm

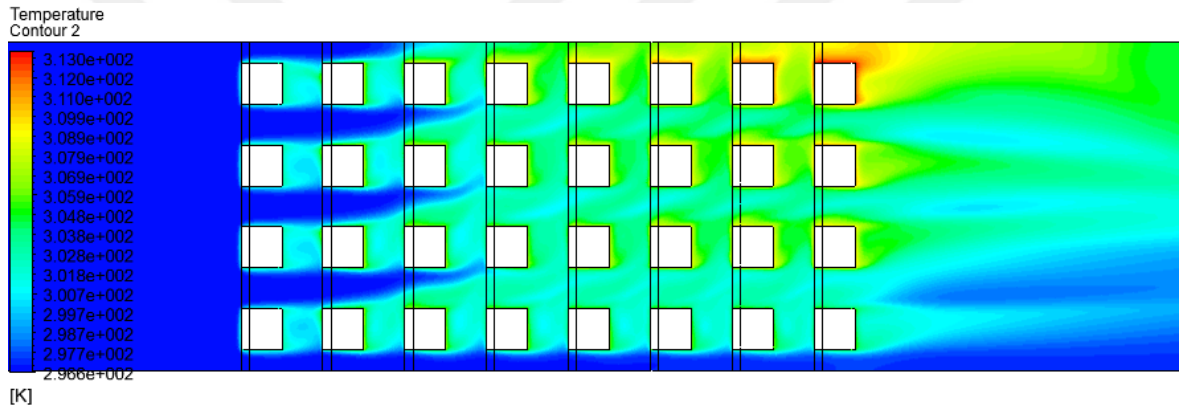


Şekil 6.62. Periyodik plaka yerleşimi (Isticilar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $\alpha=60^\circ$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

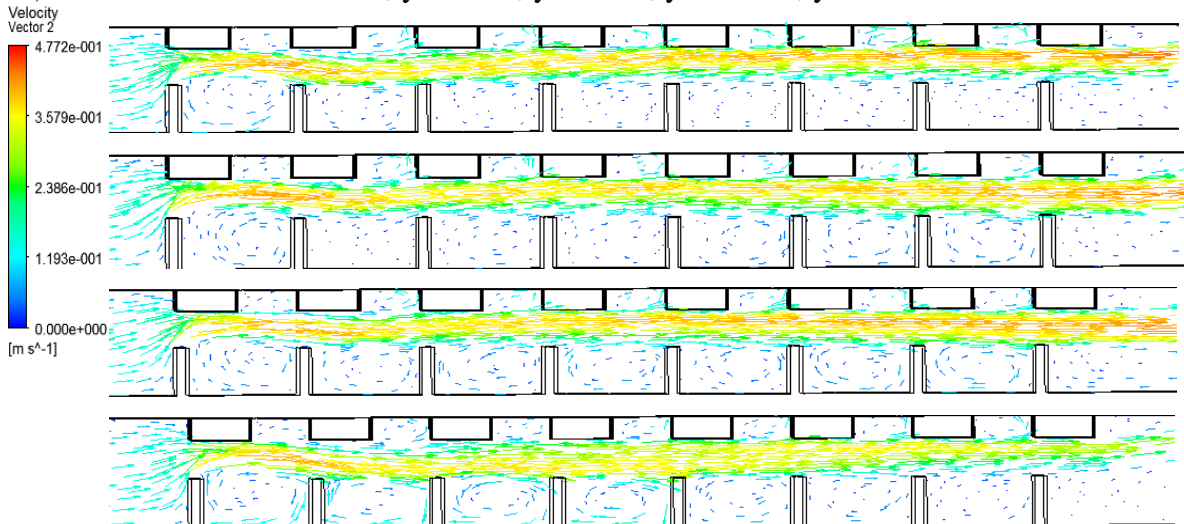
a) y-z düzlemi hız vektörleri,  $x=5\text{mm}$



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri,  $x=5\text{ mm}$



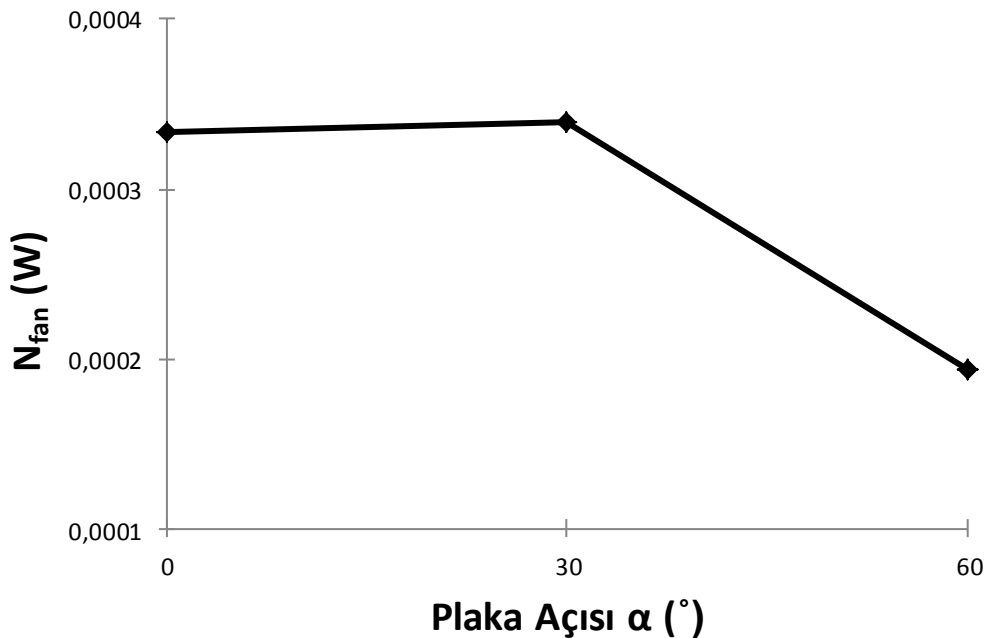
c) x-z düzlemi hız vektörleri,  $y=25\text{mm}$ ,  $y=75\text{mm}$ ,  $y=125\text{mm}$ ,  $y=175\text{mm}$



Şekil 6.63. Periyodik plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $\alpha=0^\circ$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

Şekil 6.51a ve 6.63a'daki y-z düzlemi hız vektörlerine bakıldığında  $\alpha=30^\circ$ , ve  $\alpha=0^\circ$  koşullarında doğal konveksiyon etkisine maruz kalan hava hareketinin birbirine oldukça benzer şekilde gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle  $\alpha=30^\circ$ , ve  $\alpha=0^\circ$ 'lik plaka açıları için ısı transferi ve sıcaklık dağılımı birbirine yakın değerler almıştır.

Plaka açısına göre ısı transferindeki değişimin bir diğer nedeni ise Şekil 6.51c, 6.62c ve 6.63c'de gösterilen x-z düzlemi hız vektörlerinden de anlaşıldığı gibi plaka uç noktası ile ısıtıcı yüzeyi arasındaki mesafenin azalması ile birlikte hava hızının artmasıdır. Plaka uç noktası ve ısıtıcı yüzeyleri arası mesafenin en az olduğu durum  $\alpha=30^\circ$  koşuludur. Bu nedenle plakasız duruma göre en yüksek ısı transferi artışı  $30^\circ$ 'lik açı ile plaka yerleşimi koşulunda meydana gelmiştir. Plaka ve ısıtıcı yüzey arası boşluğun en az olduğu ikinci koşul  $\alpha=0^\circ$ , en fazla boşluk miktarına sahip olan ise  $\alpha=60^\circ$  koşuludur. Isı transferi artış miktarı da bu sıralamaya göre gerçekleşmiştir. Plaka açısının tüm değerleri için kanal üst yüzeyine doğru yaklaşıldıkça hava hızının değerinin azaldığı görülmektedir. Hava hızındaki en belirgin düşüş  $\alpha=60^\circ$  değeri için Şekil 6.62c ile verilen x-z düzlemi hız vektörlerinden anlaşılmaktadır.



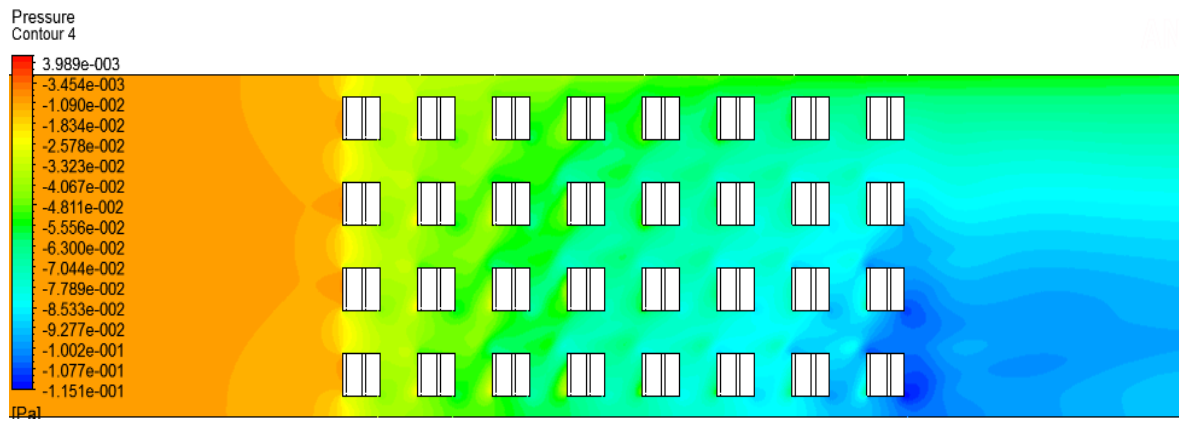
Şekil 6.64. Periyodik plaka yerleşiminde değişken plaka açıları için teorik fan gücü değerleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1,5 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

Plaka açısının değişimi ile birlikte hava akışının karşılaştığı direnç miktarı da değişkenlik göstermektedir. Akış direncinin değişkenlik göstermesi ise Şekil 6.64'de görüldüğü gibi akış için gerekli teorik fan gücünü etkilemektedir. Hava akışının geçeceği bölgenin daraltılması sonucu akış direncinin artması ile birlikte en yüksek teorik fan gücü değeri  $\alpha=30^\circ$  koşulunda oluşmuştur. Plaka ve ısıtıcı yüzey arası mesafenin, plaka açılarının  $60^\circ$  ve  $0^\circ$  olarak değiştirilerek düşürülmesi sonucu teorik fan gücü değerleri de azalmıştır.

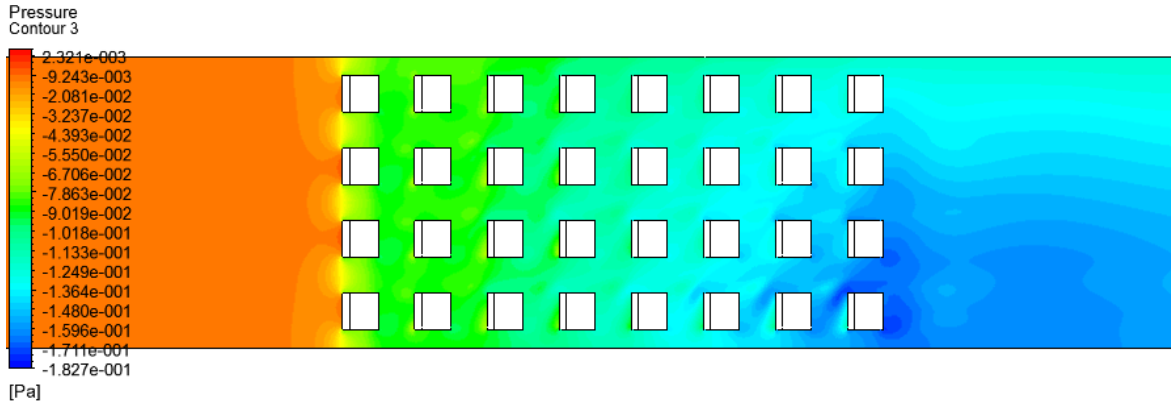
Şekil 6.64'de farklı plaka açıları ( $\alpha$ ) için verilen teorik fan gücü değerlerinin hesaplanmasında kullanılan kanal giriş ve çıkışındaki basınç farkı değerleri ise Çizelge 6.3'de verilmiştir. En yüksek basınç kaybı değerinin  $\alpha=30^\circ$  değerinde olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 6.65 ve 6.66'da da farklı plaka açıları için oluşan basınç kontörleri görülmektedir.

Çizelge 6.3. Kanal giriş ve çıkışında farklı plaka açıları için oluşan basınç farkı değerleri

| Plaka Açısı       | $\Delta P$ (Pa) |
|-------------------|-----------------|
| $\alpha=0^\circ$  | 0,144           |
| $\alpha=30^\circ$ | 0,147           |
| $\alpha=60^\circ$ | 0,084           |



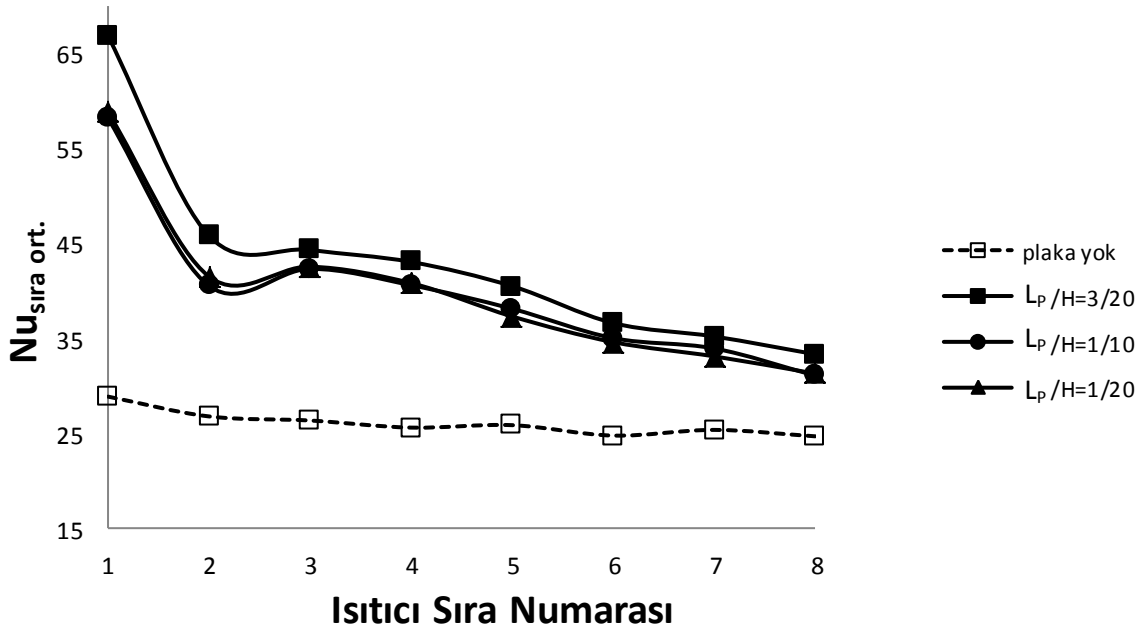
Şekil 6.65. Periyodik plaka yerleşimi durumundaki basınç kontörleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1,5 \times 10^8$ ,  $\alpha=60^\circ$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )



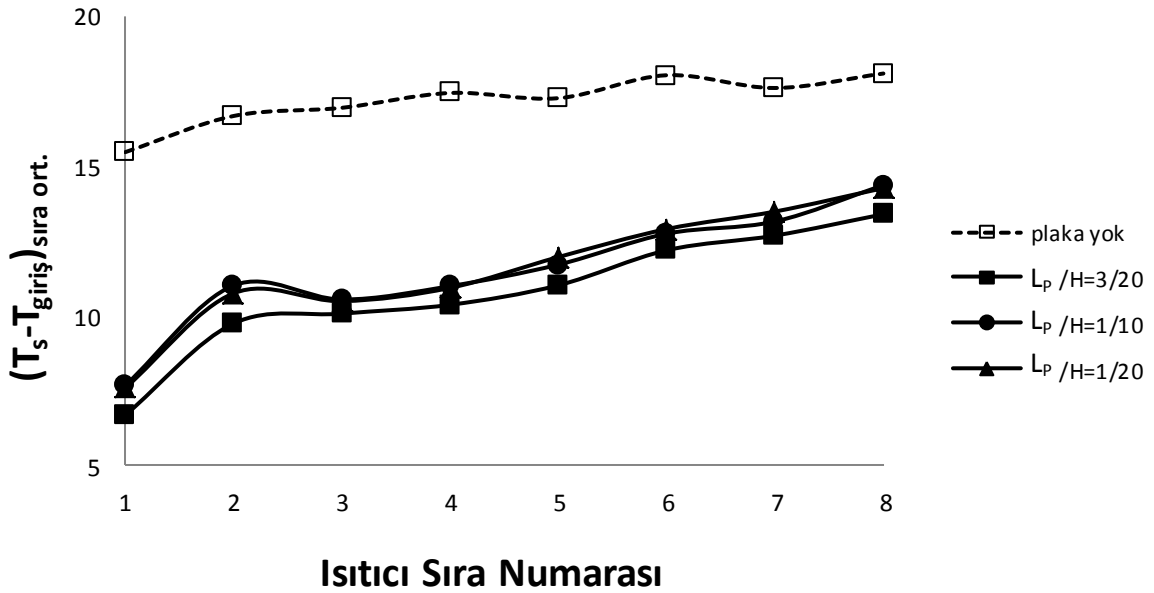
Şekil 6.66. Periyodik plaka yerleşimi durumundaki basınç kontörleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1,5 \times 10^8$ ,  $\alpha=0^\circ$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )

Isı transferi ve sıcaklık dağılımına etki eden  $Re$  Sayısı,  $Gr^*$  Sayısı ve plaka açısı parametrelerine ek olarak plakalar arası mesafenin kanal yüksekliğine oranının ( $L_p/H$ ) farklı değerleri için inceleme yapılmıştır. Kanal yüksekliği sabit tutularak plakalar arası mesafe ( $L_p$ ) değiştirilmiş ve bu durumun ısı transferi ve ısıtıcı sıcaklıkları üzerindeki etkilerinin gösterilmesi için Şekil 6.67 ve 6.68'deki grafikler oluşturulmuştur. Grafiklerde plaka açısı  $\alpha=30^\circ$  alınmıştır.

Plakalar arası mesafenin değiştirilmesi ile birlikte her bir  $L_p/H$  oranı için ısı transferi miktarları 3. ısıtıcı sırasındaki artış dışında son ısıtıcı sırasına kadar azalmıştır. Isı transferindeki azalma ile orantılı olarak ısıtıcı sıcaklıkları da son ısıtıcı sırasına doğru artma eğilimi göstermiştir. Plakasız durumda oluşan ısı transferi ile farklı  $L_p/H$  oranları için oluşan ısı transferi değerleri karşılaştırıldığında en yüksek ısı transfer artışının  $L_p/H=3/20$  koşulunda gerçekleştiği görülmektedir. Plakalar arası mesafenin düşürülmesi ile birlikte ısı transferi miktarı da azalmıştır. Isı transferindeki bu düşüş  $L_p/H=3/20$  değerinin değiştirilmesi ile belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. Plakalar arası mesafenin kanal yüksekliğine oranlarının  $L_p/H=1/10$  ve  $L_p/H=1/20$  olduğu durumlardaki ısı transferi ve sıcaklık değerleri 2., 5. ve 7. ısıtıcı sıralarındaki ihmal edilebilir değişimler dışında yaklaşık olarak aynı kalmıştır. Bu durum plakalar arası mesafenin ( $L_p$ ) belirli bir değerinin altında ısı transferinin  $L_p/H$  oranının değişiminden çok az miktarda etkilendiğini göstermektedir. Plakalar arası mesafenin azaltılıp  $L_p/H$  oranının  $L_p/H=3/20$  değerinden  $L_p/H=1/10$ 'a düşürülmesi ile  $Ri$  Sayısı  $Ri=3,5$  değerinden  $Ri=3,7$  değerine  $L_p/H=1/20$  düşürülmesi ile de  $Ri=3,8$  değerine çıkmıştır. Böylece plakalar arası mesafenin azaltılma -



Şekil 6.67. Periyodik plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama Nu sayısının  $L_p/H$  oranına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $H/W=1/2$ )



Şekil 6.68. Periyodik plakalı ve plakasız durumlarda sıra ortalama  $T_s-T_{giriş}$  değerlerinin  $L_p/H$  oranına göre değişimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $H/W=1/2$ )

sının sıcaklık farkından kaynaklanan ikincil akış etkisini artırdığı anlaşılmaktadır. Diğer bir deyişle doğal konveksiyon etkisi daha baskın hale gelmiştir.



Şekil 6.69 ve 6.70’de verilen hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri incelendiğinde hava hızı ve ısıtıcı sıcaklık değerleri  $L_p/H=1/10$  ve  $1/20$  değerleri için oldukça benzerlik göstermektedir. Şekil 6.69 ve 6.70’de verilen hız vektörleri ve sıcaklık kontörleri  $L_p/H=3/20$  koşulundakiler ile karşılaştırıldığında ise (Şekil 6.51) sıcaklığı artarak kanal üst yüzeyine doğru yükselen hava hareketinin ısıtıcı bölgesi girişinden sonra daha erken gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum ısıtıcı sıralarındaki sıcaklıkları  $L_p/H=3/20$  koşuluna göre artırarak ısı transferi miktarının azalmasına sebep olmuştur. Diğer yandan üç farklı  $L_p/H$  değeri için x-z düzlemi hız vektörleri karşılaştırıldığında (Şekil 6.51c, 6.69c ve 6.70c)  $L_p/H$  oranının düşürülmesi plaka ve ısıtıcı yüzeyi arasından geçen havanın hızını da düşürmesi nedeni ile de ısı transfer miktarının azalmasına neden olmuştur.

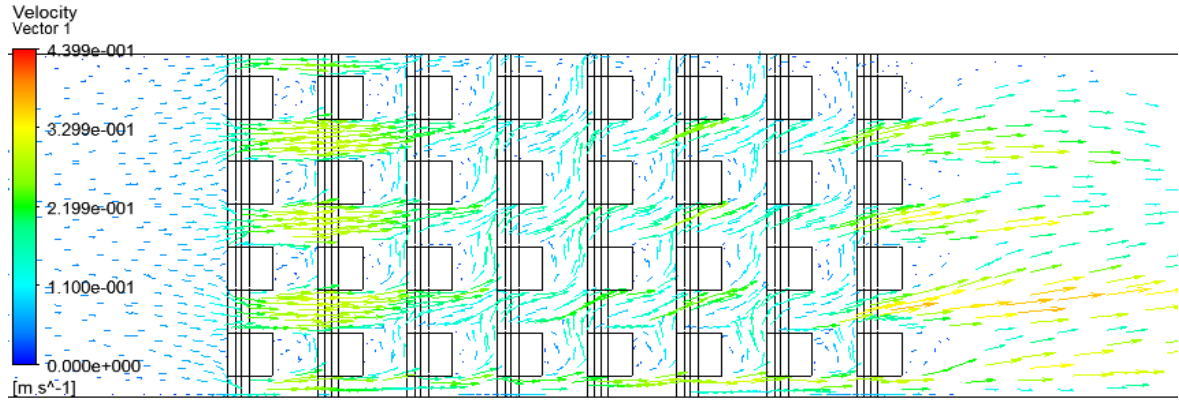
Farklı  $L_p/H$  oranları için elde edilen sayısal sonuçlardan da anlaşıldığı üzere plakalar arası mesafenin artırılması ile plaka ve ısıtıcı yüzey arasındaki mesafe azalmakta ve bu noktadan geçen havanın hızının artarak ısı transferi artışına katkı sağladığı görülmektedir. İki plaka arasındaki mesafenin belirli bir değer altına düşürülmesi sonucunda ise ısıtıcı sıcaklıkları ve ısı transferindeki değişim ihmal edilebilir seviyeye inmektedir.

Plaka açısı değişiminde olduğu gibi plaka ve ısıtıcı yüzey arası mesafenin azalması kanal içerisindeki akış direncini artırmaktadır. Şekil 6.71’de görüldüğü gibi  $L_p/H=3/20$  değeri için en yüksek teorik fan gücü değeri elde edilmiştir.  $L_p/H$  oranının azalmasına paralel olarak fan gücünde de düşme meydana gelmiştir.

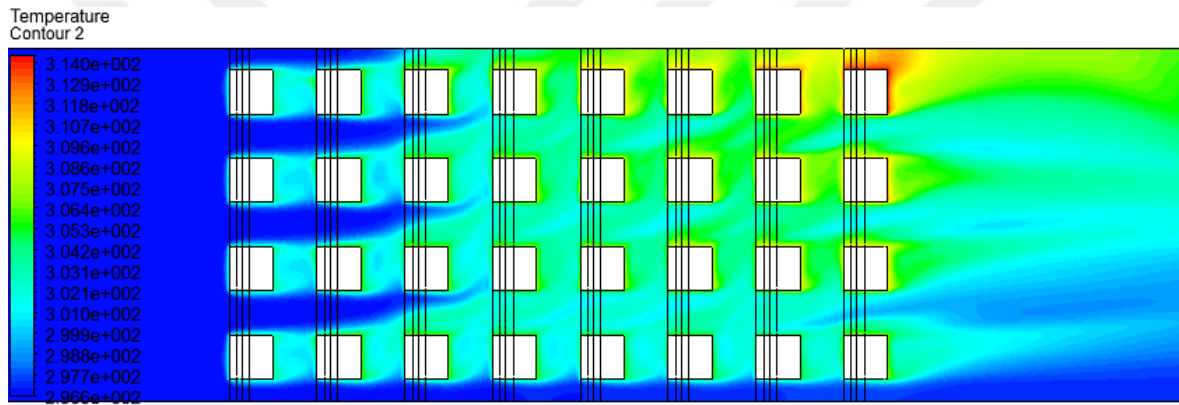
Periyodik plaka yerleşimi sonucunda oluşan ısı transferi ve ısıtıcı sıcaklık değerleri belirli parametre değerleri sabit tutularak değişken  $Gr^*$  ve  $Re$  sayıları, plaka açıları ve farklı  $L_p/H$  oranları için incelenmiş ve her koşulda plakasız duruma göre ısı transferi artışının gerçekleştiği anlaşılmıştır.

Şekil 6.71’de farklı  $L_p/H$  oranları için verilen teorik fan gücü değerlerinin hesaplanmasında kullanılan kanal giriş ve çıkışındaki basınç farkı değerleri ise Çizelge 6.4’de verilmiştir. Çizelge 6.4’deki değerler incelendiğinde  $L_p/H$  oranının artışı ile birlikte basınç kayıpları -

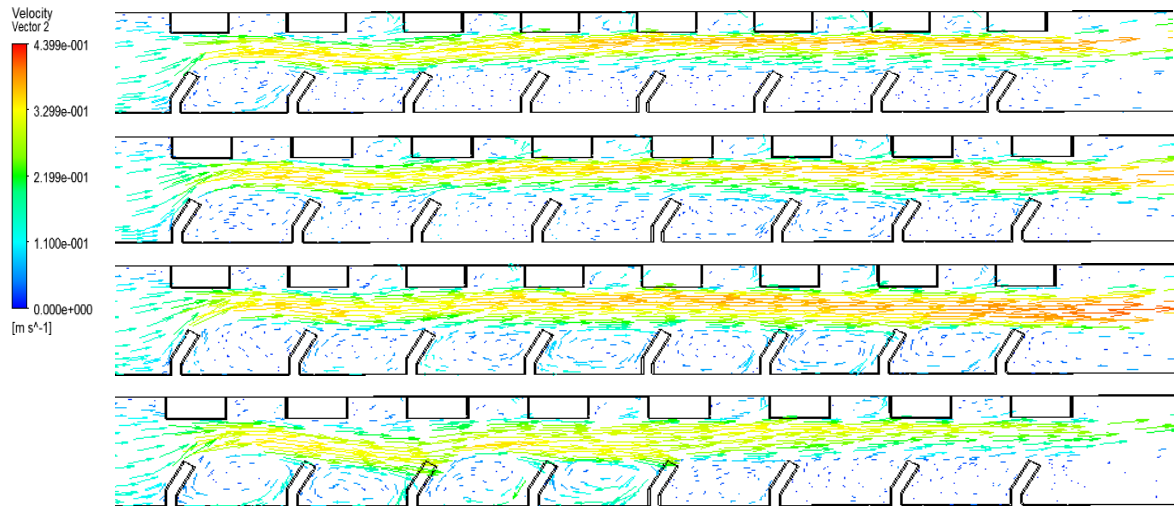
a) y-z düzlemi hız vektörleri,  $x=5\text{mm}$



b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri,  $x=5\text{ mm}$

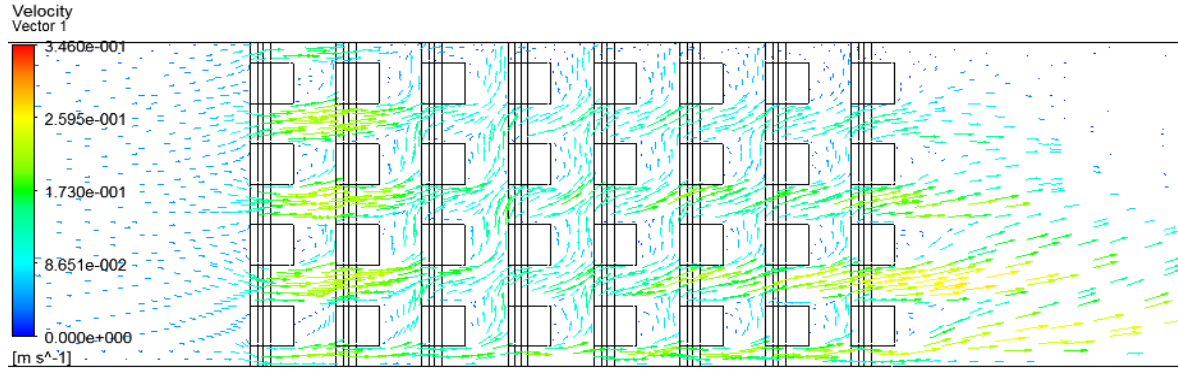


c) x-z düzlemi hız vektörleri,  $y=25\text{mm}$ ,  $y=75\text{mm}$ ,  $y=125\text{mm}$ ,  $y=175\text{mm}$

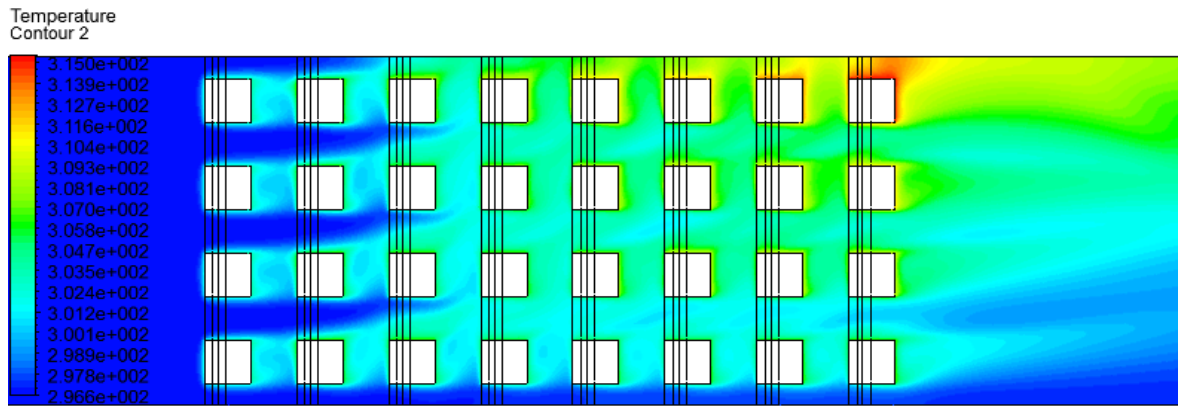


Şekil 6.69. Periyodik plaka yerleşimi (Istıvcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $L_p/H=1/10$ ,  $H/W=1/2$ )

a) y-z düzlemi hız vektörleri, x=5mm

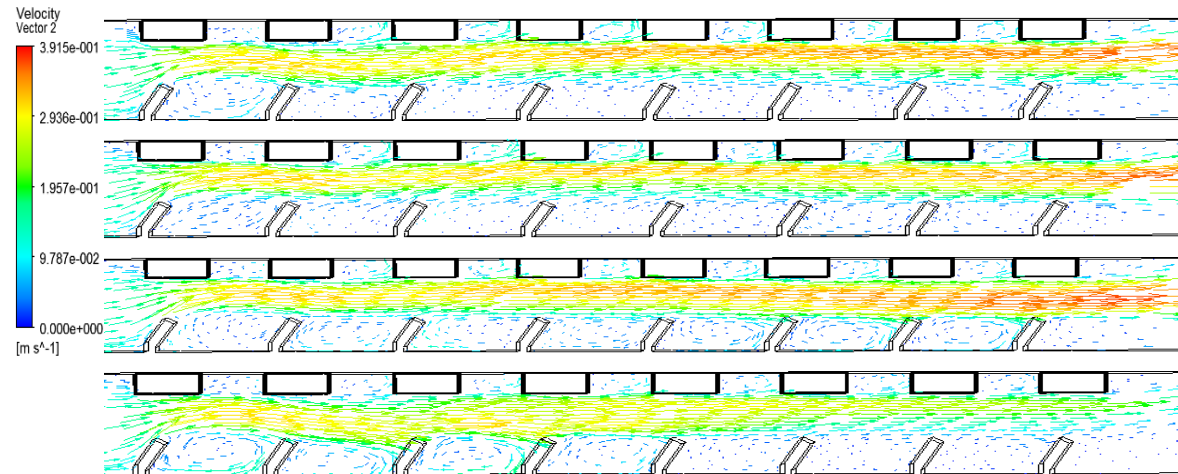


b) y-z düzlemi sıcaklık kontörleri, x=5 mm



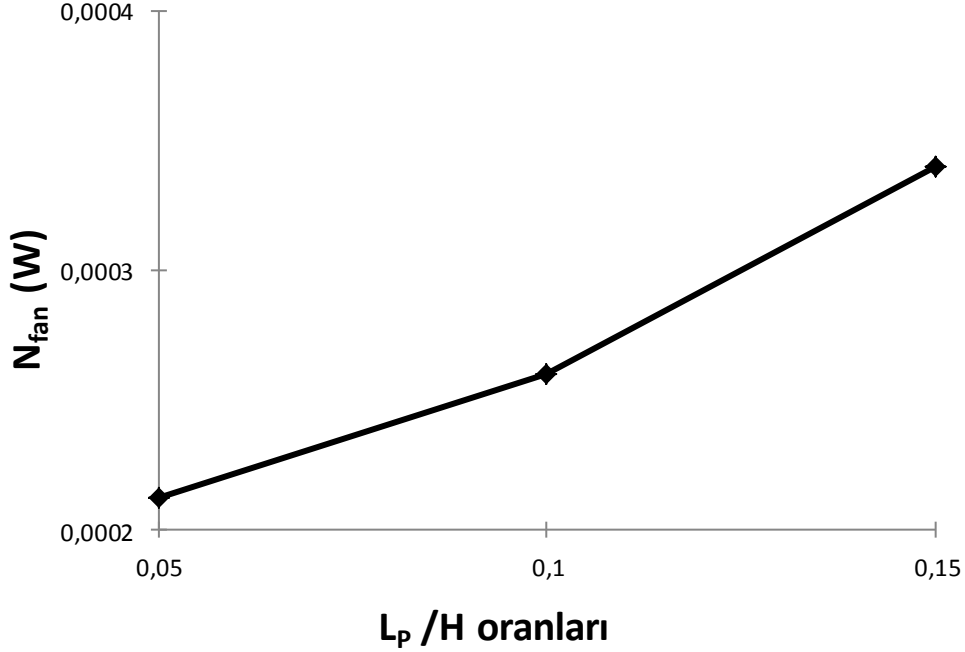
[K]

c) x-z düzlemi hız vektörleri, y=25mm, y=75mm, y=125mm, y=175mm



Şekil 6.70. Periyodik plaka yerleşimi (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1.5 \times 10^8$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $L_p/H=1/20$ ,  $H/W=1/2$ )

nın da arttığı görülmektedir.

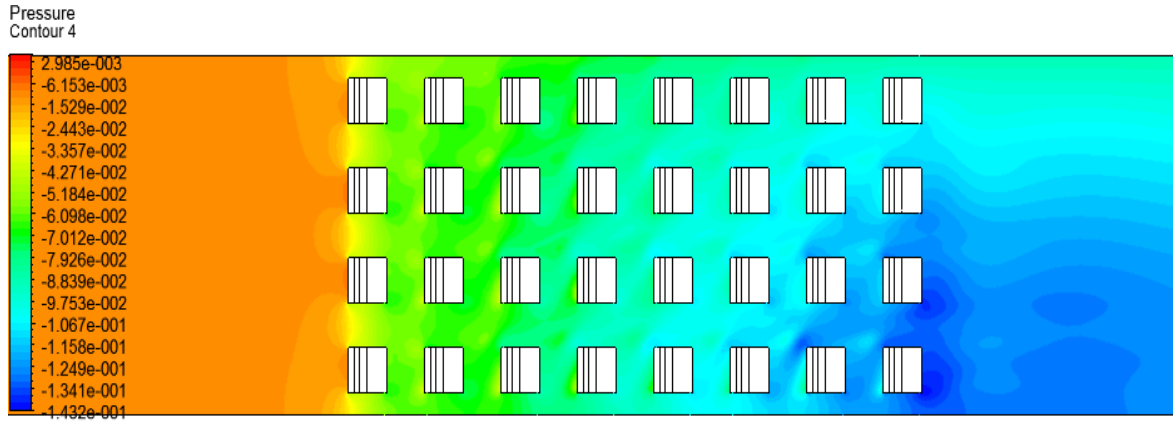


Şekil 6.71. Periyodik plaka yerleşiminde değişken  $L_p/H$  oranları için teorik fan gücü değerleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $Gr^*=1,5 \times 10^8$ ,  $H/W=1/2$ )

Şekil 6.48, 6.72 ve 6.73'de de sırası ile  $L_p/H=3/20$ ,  $1/10$  ve  $1/20$  değerleri için oluşan basınç kontörleri incelenebilir. Plakalar arası mesafenin ( $L_p$ ) artırılması sonucunda ısıtıcı yüzeyleri ile plakalar arasındaki açıklık azalmış ve hava hızı artış göstermiştir. Basınç kontörlerinden de anlaşıldığı gibi ilk ısıtıcı sırasından son ısıtıcı sırasına kadar basınç düşüşü meydana gelmiş ve en yüksek basınç kayıplarının kanal alt yüzeyine yakın ısıtıcıların olduğu kısımda olduğu anlaşılmıştır.

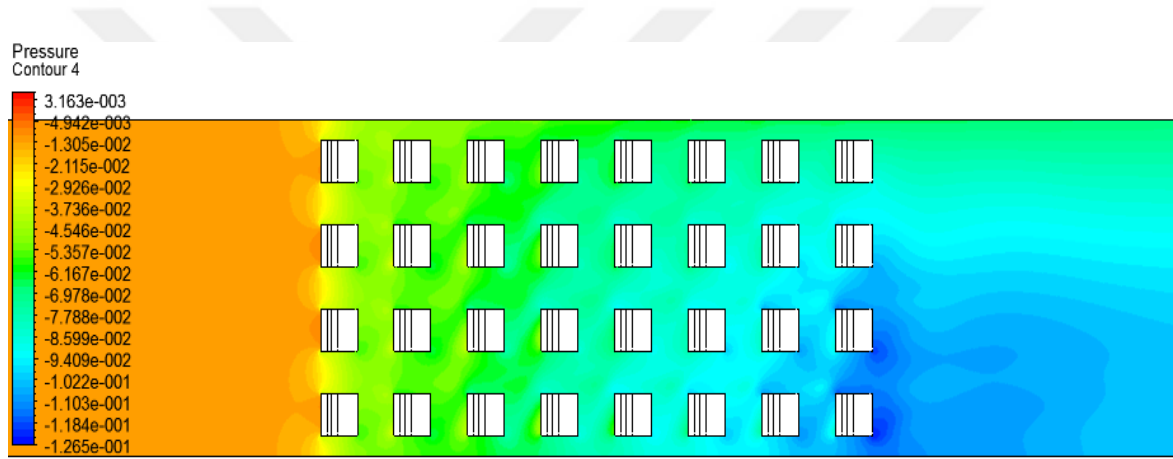
Çizelge 6.4. Kanal giriş ve çıkışında farklı  $l_p/h$  oranları için oluşan basınç farkı değerleri

| $L_p/H$ | $\Delta P$ (Pa) |
|---------|-----------------|
| 3/20    | 0,147           |
| 1/10    | 0,112           |
| 1/20    | 0,091           |



[Pa]

Şekil 6.72. Periyodik plaka yerleşimi durumundaki basınç kontörleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1,5 \times 10^8$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $L_p/H=1/10$ ,  $H/W=1/2$ )



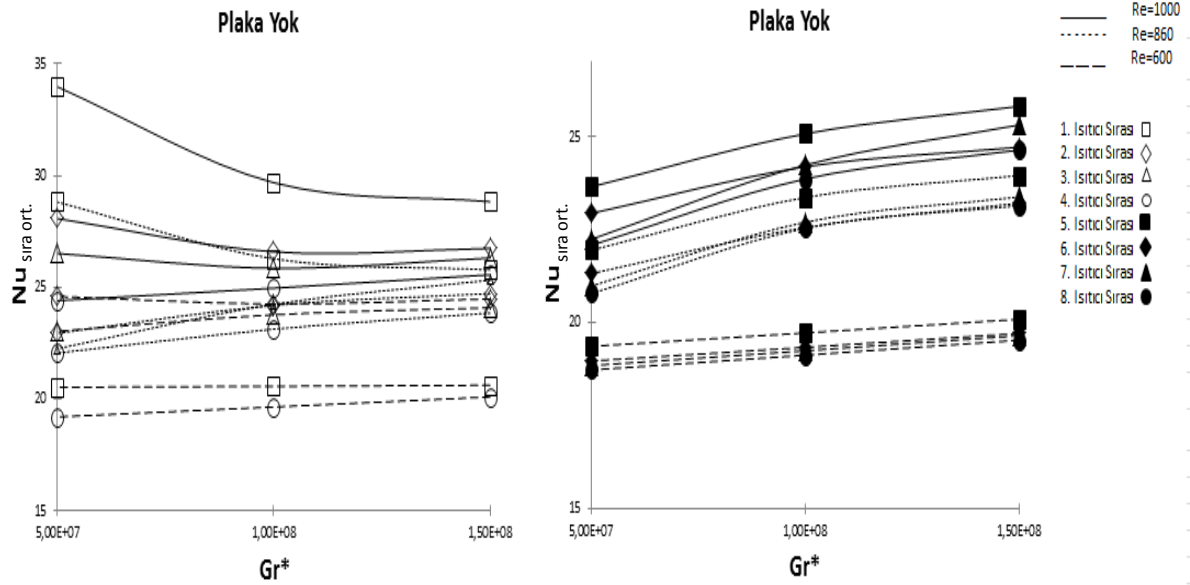
[Pa]

Şekil 6.73. Periyodik plaka yerleşimi durumundaki basınç kontörleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $Re=1000$ ,  $Gr^*=1,5 \times 10^8$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $L_p/H=1/20$ ,  $H/W=1/2$ )

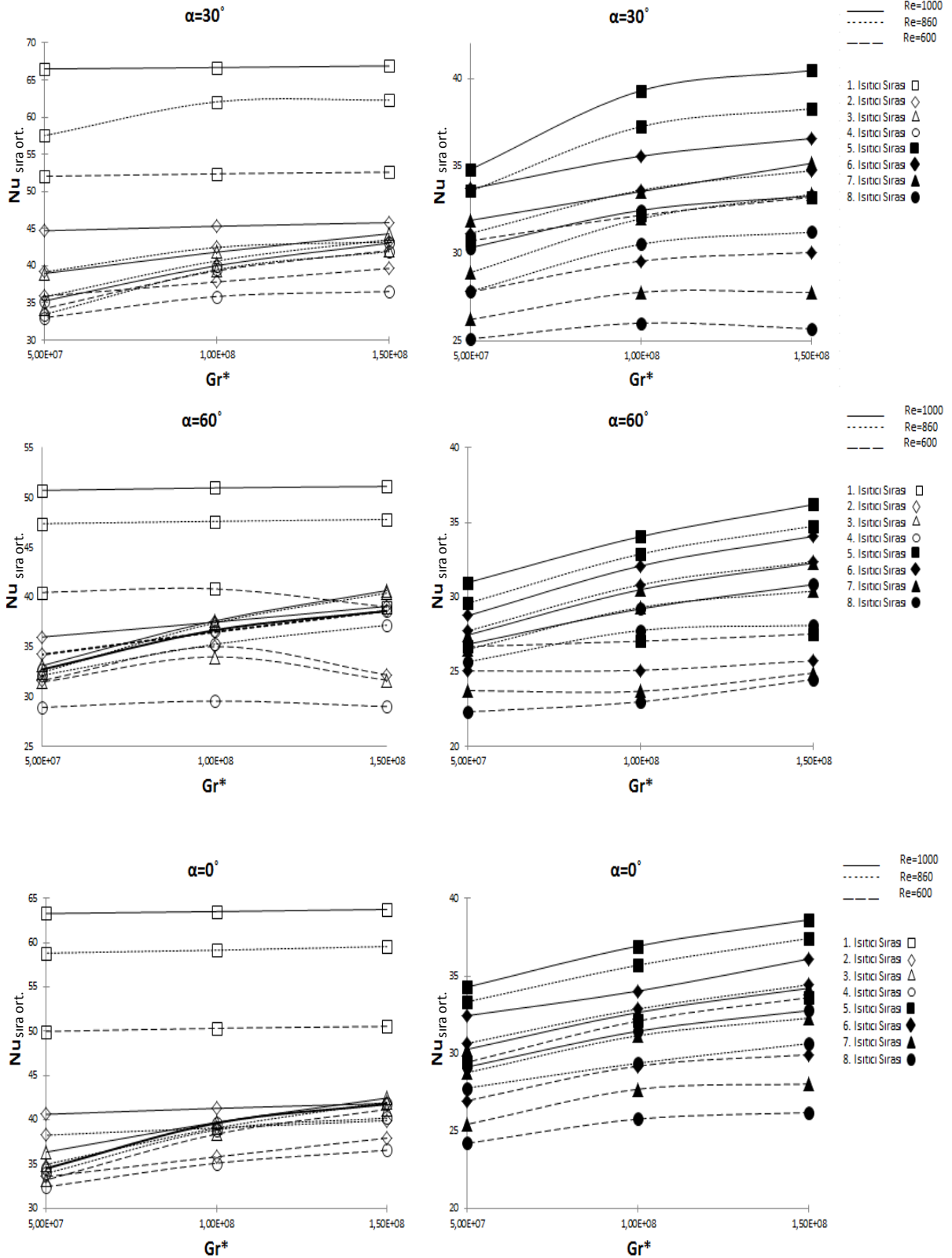
Çizelge 4.5-4.8'de verilen tüm parametre değerleri için ısıtıcı sıralarında oluşan ısı transferi değerleri ise plakasız durum için Şekil 6.74'deki grafikler ile periyodik plaka yerleşimi için ise Şekil 6.75-6.77'de verilen grafiklerle sunulmuştur.

Plaka yerleşiminin yapılmadığı koşullardaki tüm sonuçlara bakıldığında (Şekil 6.74) genel olarak  $Gr^*$  sayısının artışı ile birlikte ısıtıcı sıralarındaki ısı transferi miktarının da arttığı görülmektedir. Yalnızca  $Re=1000$  değeri için ilk 3 ısıtıcı sırasında,  $Re=860$  değeri için ise ilk ısıtıcı sırasındaki ısı transferi değerleri  $Gr^*$  sayısının artışı ile birlikte düşmüştür. Diğer tüm ısıtıcı sıralarında ısıtıcı sıcaklıklarının artarak doğal konveksiyonun etkisinin artması ile birlikte ısı transferi miktarında artış meydana gelmiştir. Bu durum yüksek  $Re$  sayısı değerleri için doğal konveksiyon etkisinin son ısıtıcı sıralarına doğru daha etkin olduğunu göstermektedir.

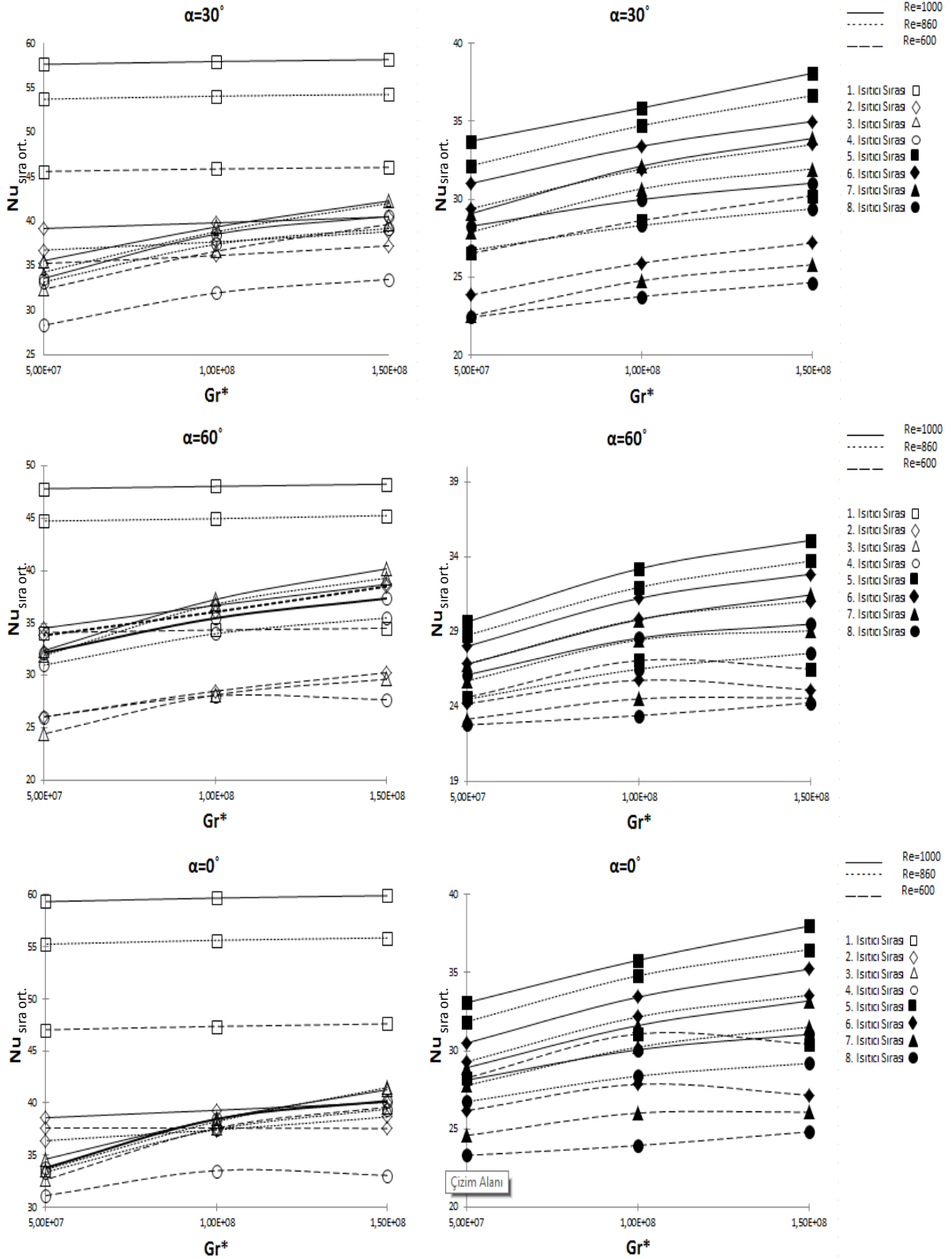
Periyodik plaka yerleşimindeki tüm sonuçlar incelendiğinde (Şekil 6.75-6.77)  $Re=1000$ ,  $Re=860$  ile  $\alpha=30^\circ$ ,  $60^\circ$  ve  $0^\circ$  değerleri için ısıtıcı sıralarının her birinde  $Gr^*$  sayısının artışına bağlı olarak sıcaklık farkından kaynaklanan ikincil akışın etkisi ile birlikte ısı transferi değerinde de artış meydana gelmiştir. Bu artış  $Ri$  sayısının belirli bir değerine kadar devam etmiş sonrasında ise ısıtıcı sıcaklıklarının büyük oranda yükselmesi ile birlikte durmuştur.  $Re=600$  değeri için ısı transferi değerleri incelendiğinde ise  $Ri$  sayısının  $Ri \geq 12$  değerinin üzerine çıkması sonucu akış tamamı ile doğal konveksiyon etkisinin baskın olduğu koşullara geçmiş ve  $Gr^*$  sayısının artışı ile ısı transferi miktarı azalmaya başlamıştır. Bahsedilen bu durumun  $L_p/H=1/20$  durumunda tüm plaka açısı değerleri için özellikle 2., 3, 4 ve 5. ısıtıcı sıralarında meydana geldiği belirgin şekilde görülmektedir.  $L_p/H=3/20$  koşulunda  $\alpha=30^\circ$  derece için son ısıtıcı sırasında ve  $L_p/H=1/10$  koşulu için  $\alpha=0^\circ$  derecede 5. ısıtıcı sırasında da doğal konveksiyonun etkisinin artarak ısı transferi miktarını düşürmesi söz konusudur. Sıcaklık farkından kaynaklanan ikincil akışın etkisi belirli bir  $Ri$  sayısı değerinden sonra ısıtıcı sıcaklıklarını büyük oranda artırarak ısı transferinin azalmasına neden olmaktadır.



Şekil 6.74. Plakasız koşul için  $Nu_{\text{sıra ort.}}$  değerleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde)

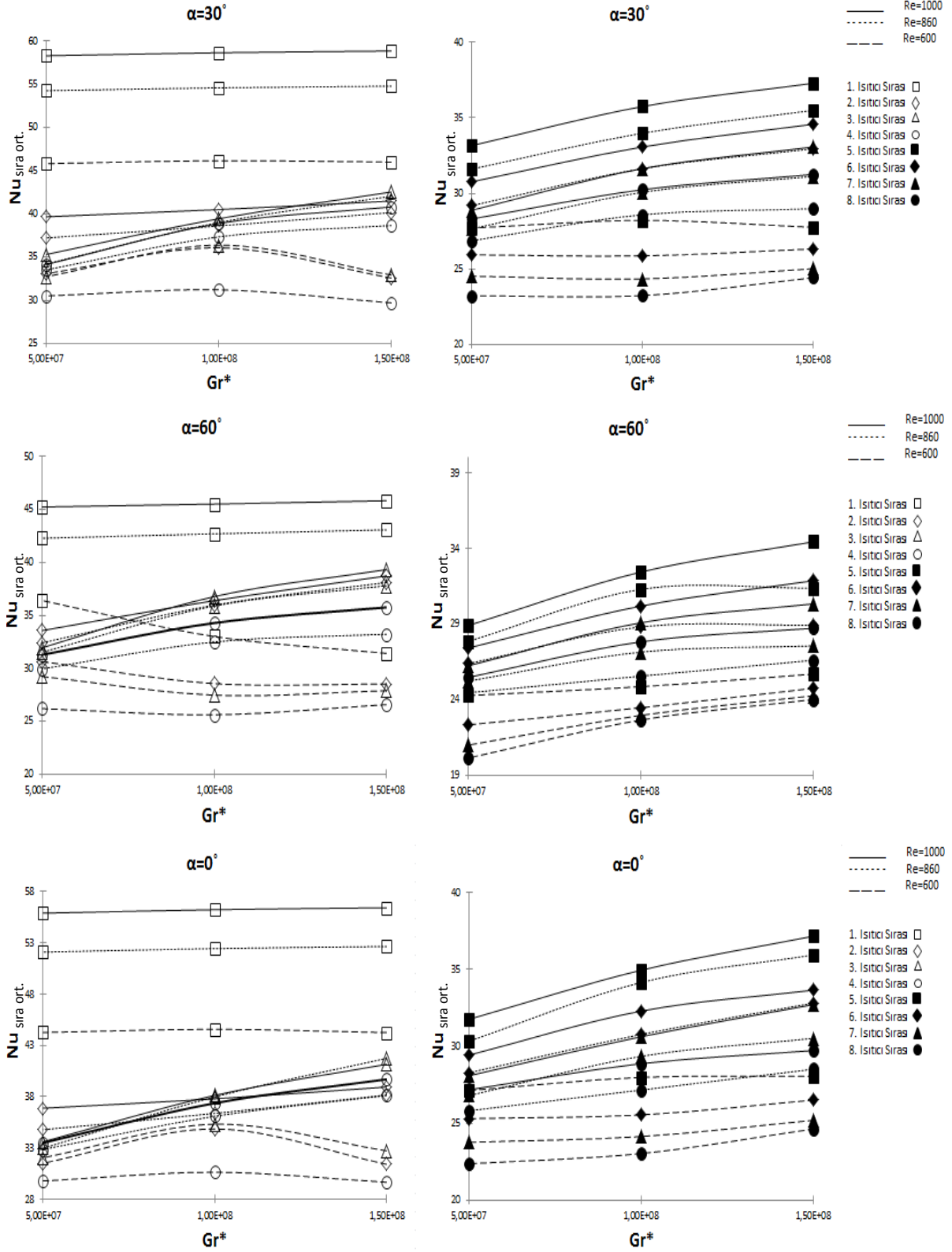


Şekil 6.75. Periyodik plaka yerleşimi için  $Nu_{sıra\ ort.}$  değerleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $L_p/H=3/20$ )



Şekil 6.76. Periyodik plaka yerleşimi için  $Nu_{sıra\ ort.}$  değerleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $L_p/H=1/10$ )





Şekil 6.77. Periyodik plaka yerleşimi için  $Nu_{sıra\ ort.}$  değerleri (Isıtıcılar kanal yan yüzeylerinde,  $L_p/H=1/20$ )



## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada içerisinde çıkıntılı ısı kaynakları bulunan yatay bir kanal içerisine akış yönlendirici plakalar yerleştirilmesinin laminar ısı transferine etkisi deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Kanal içerisinde ve ısıtıcılarda oluşan ısı transferi ve sıcaklık dağılımı, farklı  $Re$ ,  $Gr^*$  ve  $Ri$  sayıları, plaka açıları ve plakalar arası mesafenin kanal yüksekliğine oranını gösteren  $L_p/H$  oranları için araştırılmış ve kanal içerisine plaka yerleşiminin yapıldığı ve yapılmadığı durumlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Deneysel bulgular incelendiğinde ısıtıcıların kanal alt ve üst yüzeyinde bulunduğu durumda plakaların ısıtıcı bölgesine giriş kısmına yerleştirilmesi alt yüzeydeki ısıtıcılar için belirli ısıtıcı sıralarında soğutma koşulları açısından plakasız duruma göre fayda sağlamıştır. Fakat üst yüzeydeki ısıtıcılar göz önünde bulundurulduğunda havanın plaka ve ısıtıcılar arasından geçerken ısıtıcı yüzeyine çarparak kanal ortasına doğru yönlenmesi ısıtıcıların büyük bölümünde sıcaklıkları artırmıştır. Bu nedenle de ısıtıcı bölgesine girişte plaka yerleşiminin tüm ısıtıcılar ele alındığında plakasız duruma göre avantajlı olmadığı anlaşılmıştır.

Sayısal çalışma bölümünde ilk olarak, deneysel çalışmada ele alınan probleme uygun matematiksel bir model oluşturularak belirli parametre değerleri için deneysel çalışma sonuçları ile uyumlu sayısal sonuçlar elde edilmiştir. Sonrasında ise ısıtıcıların kanal alt ve üst yüzeyinde bulunması koşulu için akış yönlendirici plaka kullanılması durumunda farklı  $Re$ ,  $Gr^*$  sayıları ve plaka açısı değerlerinde sayısal analizler yapılmıştır. Bu analizlerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde ısıtıcıların kanal alt ve üst yüzeyinde bulunması durumu için plaka kullanımının, alt yüzeydeki ısıtıcılarda ilk dört ısıtıcı sırasındaki, üst yüzeydeki ısıtıcılarda ise yalnızca ilk ve son ısıtıcı sıralarındaki ısı transferi miktarını artırdığı anlaşılmaktadır. Diğer ısıtıcı sıralarında ise sıcaklıklar plakasız duruma göre artarak sistemi olumsuz yönde etkilemiştir. Bu nedenle, ısı transferini iyileştirilerek daha uygun soğutma koşullarını oluşturabileceği düşünülen ısıtıcılar yan yüzeylerde iken akış yönlendirici plaka kullanılması durumunun sayısal olarak incelenmesine karar verilmiştir. Bu doğrultuda öncelikle ısıtıcı bölgesi girişine plaka yerleşimi yapılarak ısı transferi miktarında iyileştirme yapılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda değişken  $Gr^*$  ve  $Re$  sayılarının tüm değerleri için plakasız duruma göre farklı oranlarda ısı transferi artışı

sağlanmıştır. En yüksek ısı transferi artışı ise  $Re=1000$  ve  $Gr^*=1,5 \times 10^8$  değerleri için  $\alpha=60^\circ$  koşulunda gerçekleşmiştir. Zorlanmış konveksiyonun etkisinin artırılması ile birlikte plakasız duruma göre belirgin şekilde yalnızca ilk ısıtıcı sıraları için ısı transferi artışı meydana gelmiştir. Diğer ısıtıcı sıralarındaki değerlerin ise plakasız koşuldaki ısı transferi değerlerine çok yakın olduğu görülmüştür. Bu nedenle de tüm ısıtıcı sıralarındaki ısı transfer miktarını büyük ölçüde artıracığı düşünülen periyodik plaka yerleşim düzeni kullanılmasına karar verilmiştir.

Periyodik plaka yerleşim düzeni ile her bir ısıtıcı sırası hizasına plaka yerleştirilerek kanal üst yüzeyine yakın noktalarda hava hızı artırılmıştır. Ayrıca plakalar arasındaki boşluklar kapatılarak ısıtıcı bölgesine giren havanın tümü ısıtıcı bloklara yönlendirilmiştir. Periyodik plaka yerleşim düzeninde farklı  $Re$ ,  $Gr^*$  ve  $Ri$  sayıları, plaka açıları ve plakalar arası mesafenin kanal yüksekliğine oranını gösteren  $L_p/H$  oranları için sayısal parametrik çalışma gerçekleştirilmiştir. Değişken parametreler için elde edilen sonuçlar ise aşağıda verildiği gibidir;

- $Gr^*$  sayısına bağlı olarak değişken ısı akısı değerleri için oluşan  $Nu$  sayısı ve sıcaklık dağılımları incelendiğinde plakasız duruma göre en yüksek ısı transfer artışının doğal konveksiyon etkisinin baskın olduğu  $Gr^*=1,5 \times 10^8$  ( $Ri=3,5$ ) değerinde gerçekleştiği görülmektedir. Karışık konveksiyon koşullarına yaklaşımları ile birlikte plakalı ve plakasız durumlar arasında ısı transferi miktarındaki fark azalmıştır.
- Hava hızının değişimi ile birlikte farklı  $Re$  sayısındaki değerlere bakıldığında ise alındığında en fazla ısı transfer artışının  $Re=600$  değerinde gerçekleştiği görülmektedir.  $Re=600$  değerinde ısıtıcı sıcaklıkları en yüksek değerine ulaşmasına rağmen plakasız durumda zorlanmış konveksiyon etkisinin ihmal edilebilir seviyede olduğu doğal konveksiyon etkili akışın, periyodik plaka kullanımı sonucunda karışık konveksiyon koşullarına yaklaşması ısı transferi artışının diğer  $Re$  sayısı değerlerinde oluşan ısı transferi artış miktarlarına göre yüksek olmasını sağlamıştır. Ayrıca tüm hava hızı değerleri için de plakasız duruma göre ısıtıcı sıcaklıklarının düştüğü, ısı transferinin arttığı görülmektedir.
- Plakaların üç farklı açı ile ( $\alpha=30^\circ, 60^\circ, 0^\circ$ ) yerleştirilmesi durumunda havanın hızının artmasını sağlayan plaka ve ısıtıcı yüzeyi arasındaki mesafenin en düşük olduğu  $\alpha=30^\circ$  açı değerinde en yüksek ısı transferi değeri elde edilmiştir.

- Isı transferi ve sıcaklık dağılımını etki plakalar arası mesafenin kanal yüksekliğine oranını gösteren üç farklı  $L_p/H$  oranı ( $L_p/H=3/20$ ,  $1/10$ ,  $1/20$ ) için inceleme yapıldığında ise  $L_p/H=3/20$  değerinde plakasız duruma göre en uygun sonuçların elde edildiği görülmektedir. Farklı  $L_p/H$  oranları için elde edilen sayısal sonuçlardan da anlaşıldığı üzere plakalar arası mesafenin artırılması ile plaka ve ısıtıcı yüzey arasındaki mesafe azalmakta ve bu noktadan geçen havanın hızının artarak ısı transferi artışına katkı sağladığı görülmektedir. İki plaka arasındaki mesafenin belirli bir değer altına düşürülmesi sonucunda ise ısıtıcı sıcaklıkları ve ısı transferindeki değişim ihmal edilebilir seviyeye inmektedir.
- Yukarıda bahsedilen  $Re$  sayısı, plaka açısı ( $\alpha$ ) ve  $L_p/H$  parametrelerinin ısıtıcılarda meydana gelen ısı transferi ve sıcaklık dağılımında etkili olmasının yanında hava akış dirençlerini değiştirerek basınç kayıplarının da farklı oranlarda artmasına neden olacağı düşünülerek akış için gerekli teorik fan gücü ( $N_{fan}$ ) gereksinimleri hesaplanmıştır. Ancak sonuçlar, gerekli teorik fan güçleri çok düşük mertebelerde ( $10^{-4}$  W) çıktığından periyodik plaka yerleşiminin ısı transferini artırmakta kullanılmasının faydalı olacağını göstermiştir.

Sayısal sonuçlardan da anlaşıldığı üzere ısıtıcıların kanal yan yüzeylerinde olması durumunda her bir ısıtıcı sırası hizasına periyodik plaka yerleştirilmesinin tüm parametre değerleri için plakasız duruma kıyasla ısı transferi ve sıcaklık dağılımı açısından daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Soğutulan sistemin gereksinimleri göz önünde bulundurularak uygun parametre seçimi yapılmasının, ısı transfer artışını olumlu yönde etkileyebileceği görülmüştür.



**KAYNAKLAR**

1. Pirasaci, T. (2010). *Çıkıntılı ısı kaynakları bulunan bir kanalda karışık konveksiyon ile ısı transferinin laminar ve türbülanslı akış şartlarında deneysel ve sayısal analizi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
2. Maughan, J. R., Incropera, F. P. (1987). Experiments on mixed convection heat transfer for airflow in a horizontal and inclined channel. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 30(7), 1307-1318.
3. Hamouche, A., Bessaïh, R. (2009). Mixed convection air cooling of protruding heat sources mounted in a horizontal channel. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36(8), 841-849.
4. Mahaney, H. V., Ramadhyani, S., Incropera, F. P. (1989). Numerical simulation of three-dimensional mixed convection heat transfer from an array of discrete heat sources in a horizontal rectangular duct. *Numerical Heat Transfer*, 16(3), 267-286.
5. Dogan, A., Sivrioglu, M., Baskaya, S. (2005). Experimental investigation of mixed convection heat transfer in a rectangular channel with discrete heat sources at the top and at the bottom. *International communications in heat and mass transfer*, 32(9), 1244-1252.
6. Dogan, A., Sivrioglu, M., Baskaya, S. (2006). Investigation of mixed convection heat transfer in a horizontal channel with discrete heat sources at the top and at the bottom. *International journal of heat and mass transfer*, 49(15), 2652-2666.
7. Pirasaci, T., Sivrioglu, M. (2011). Experimental investigation of laminar mixed convection heat transfer from arrays of protruded heat sources. *Energy Conversion and Management*, 52(5), 2056-2063.
8. Wu, H. W., Perng, S. W. (1999). Effect of an oblique plate on the heat transfer enhancement of mixed convection over heated blocks in a horizontal channel. *International journal of heat and mass transfer*, 42(7), 1217-1235.
9. Perng, S. W., Wu, H. W. (2008). Numerical investigation of mixed convective heat transfer for unsteady turbulent flow over heated blocks in a horizontal channel. *International Journal of Thermal Sciences*, 47(5), 620-632.
10. Oztop, H. F., Varol, Y., Alnak, D. E. (2009). Control of heat transfer and fluid flow using a triangular bar in heated blocks located in a channel. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36(8), 878-885.
11. Korichi, A., Oufer, L., Polidori, G. (2009). Heat transfer enhancement in self-sustained oscillatory flow in a grooved channel with oblique plates. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(5), 1138-1148.

12. 25. Fu, W. S., Tong, B. H. (2004). Numerical investigation of heat transfer characteristics of the heated blocks in the channel with a transversely oscillating cylinder. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(2), 341-351.
13. Davidson, A. S. L. (2001). Effect of inclined vortex generators on heat transfer enhancement in a three-dimensional channel. *Numerical Heat Transfer: Part A: Applications*, 39(5), 433-448.
14. Myrum, T. A., Qiu, X., Acharya, S. (1993). Heat transfer enhancement in a ribbed duct using vortex generators. *International journal of heat and mass transfer*, 36(14), 3497-3508.
15. Valencia, A. (1999). Heat transfer enhancement due to self-sustained oscillating transverse vortices in channels with periodically mounted rectangular bars. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 42(11), 2053-2062.
16. Chompookham, T., Thianpong, C., Kwankaomeng, S., and Promvonge, P. (2010). Heat transfer augmentation in a wedge-ribbed channel using winglet vortex generators. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37(2), 163-169
17. Fu, W. S., Ke, W. W., Wang, K. N. (2001). Laminar forced convection in a channel with a moving block. *International journal of heat and mass transfer*, 44(13), 2385-2394.
18. Beig, S. A., Mirzakhali, E., Kowsari, F. (2011). Investigation of optimal position of a vortex generator in a blocked channel for heat transfer enhancement of electronic chips. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(19), 4317-4324.
19. Perng, S. W., Wu, H. W., Jue, T. C. (2012). Numerical investigation of heat transfer enhancement on a porous vortex-generator applied to a block-heated channel. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55(11), 3121-3137.
20. Sohankar, A. (2007). Heat transfer augmentation in a rectangular channel with a vee-shaped vortex generator. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 28(2), 306-317.
21. Wu, J. M., Tao, W. Q. (2008). Numerical study on laminar convection heat transfer in a rectangular channel with longitudinal vortex generator. Part A: Verification of field synergy principle. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51(5), 1179-1191.
22. Fu, W. S., Chen, C. J., Wang, Y. Y., and Huang, Y. (2012). Enhancement of mixed convection heat transfer in a three-dimensional horizontal channel flow by insertion of a moving block. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39(1), 66-71.
23. Yang, S. J. (2002). A numerical investigation of heat transfer enhancement for electronic devices using an oscillating vortex generator. *Numerical Heat Transfer: Part A: Applications*, 42(3), 269-284.
24. Min, C., Qi, C., Wang, E., Tian, L., & Qin, Y. (2012). Numerical investigation of turbulent flow and heat transfer in a channel with novel longitudinal vortex generators. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55(23), 7268-7277.



25. Sripattanapipat, S., Promvonge, P. (2009). Numerical analysis of laminar heat transfer in a channel with diamond-shaped baffles. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36(1), 32-38.
26. Teamah, M. A., El-Maghlany, W. M., Dawood, M. M. K. (2011). Numerical simulation of laminar forced convection in horizontal pipe partially or completely filled with porous material. *International Journal of Thermal Sciences*, 50(8), 1512-1522.
27. Garimella, S. V., Eibeck, P. A. (1991). Enhancement of single phase convective heat transfer from protruding elements using vortex generators. *International journal of heat and mass transfer*, 34(9), 2431-2433.
28. Florio, L. A., Harnoy, A. (2007). Use of a vibrating plate to enhance natural convection cooling of a discrete heat source in a vertical channel. *Applied thermal engineering*, 27(13), 2276-2293.
29. Lin, Z. M., Liu, C. P., Lin, M., & Wang, L. B. (2014). Numerical study of flow and heat transfer enhancement of circular tube bank fin heat exchanger with curved delta-winglet vortex generators. *Applied Thermal Engineering*.
30. Seyyedi, S. M., Bararnia, H., Ganji, D. D., Gorji-Bandpy, M., and Soleimani, S. (2012). Numerical investigation of the effect of a splitter plate on forced convection in a two dimensional channel with an inclined square cylinder. *International Journal of Thermal Sciences*, 61, 1-14.
31. Abdollahi, A., Shams, M. (2015). Optimization of shape and angle of attack of winglet vortex generator in a rectangular channel for heat transfer enhancement. *Applied Thermal Engineering*, 81, 376-387.
32. Zdanski, P. S. B., Pauli, D., & Dauner, F. A. L. (2015). Effects of delta winglet vortex generators on flow of air over in-line tube bank: A new empirical correlation for heat transfer prediction. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 67, 89-96.
33. Xia, H. H., Tang, G. H., Shi, Y., & Tao, W. Q. (2014). Simulation of heat transfer enhancement by longitudinal vortex generators in dimple heat exchangers. *Energy*, 74, 27-36.
34. Gholami, A. A., Wahid, M. A., & Mohammed, H. A. (2014). Heat transfer enhancement and pressure drop for fin-and-tube compact heat exchangers with wavy rectangular winglet-type vortex generators. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 54, 132-140.
35. Zhou, G., & Feng, Z. (2014). Experimental investigations of heat transfer enhancement by plane and curved winglet type vortex generators with punched holes. *International Journal of Thermal Sciences*, 78, 26-35.
36. Caliskan, S. (2014). Experimental investigation of heat transfer in a channel with new winglet-type vortex generators. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 78, 604-614.

37. Deshmukh, P. W., & Vedula, R. P. (2014). Heat transfer and friction factor characteristics of turbulent flow through a circular tube fitted with vortex generator inserts. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 79, 551-560.
38. Li, H. Y., Chen, C. L., Chao, S. M., & Liang, G. F. (2013). Enhancing heat transfer in a plate-fin heat sink using delta winglet vortex generators. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 67, 666-677.
39. Hatami, M., Ganji, D. D., & Gorji-Bandpy, M. (2015). Experimental investigations of diesel exhaust exergy recovery using delta winglet vortex generator heat exchanger. *International Journal of Thermal Sciences*, 93, 52-63.
40. Chen, C., Teng, J. T., Cheng, C. H., Jin, S., Huang, S., Liu, C., ... & Greif, R. (2014). A study on fluid flow and heat transfer in rectangular microchannels with various longitudinal vortex generators. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 69, 203-214.
41. Guimaraes, P. M., Menon, G. J. (2008). Combined free and forced convection in an inclined channel with discrete heat sources. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35(10), 1267-1274.
42. Incropera, F. P., Schutt, J. A. (1985). Numerical simulation of laminar mixed convection in the entrance region of horizontal rectangular ducts. *Numerical Heat Transfer*, 8(6), 707-729.
43. Huang, C. C., Lin, T. F. (1994). Buoyancy induced flow transition in mixed convective flow of air through a bottom heated horizontal rectangular duct. *International journal of heat and mass transfer*, 37(8), 1235-1255.
44. 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.
45. Wang, Q., Jaluria, Y. (2002). Instability and heat transfer in mixed-convection flow in a horizontal duct with discrete heat sources. *Numerical Heat Transfer: Part A: Applications*, 42(5), 445-463.
46. Rao, C. G., Balaji, C., Venkateshan, S. P. (2002). Effect of surface radiation on conjugate mixed convection in a vertical channel with a discrete heat source in each wall. *International journal of heat and mass transfer*, 45(16), 3331-3347.
47. 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.
48. Ozsunar, A., Baskaya, S., Sivrioglu, M. (2002). Experimental investigation of mixed convection heat transfer in a horizontal and inclined rectangular channel. *Heat and mass transfer*, 38(3), 271-278.

49. Moffat, R. J. (1982). Contributions to the theory of single-sample uncertainty analysis. ASME, Transactions, *Journal of Fluids Engineering*, 104(2), 250-58.
50. Kline, S. J. (1985). The purposes of uncertainty analysis. *Journal of Fluids Engineering*, 107(2), 153-160.
51. Smith, R. E., & Wehofer, S. (1985). From measurement uncertainty to measurement communications, credibility, and cost control in propulsion ground test facilities. *Journal of Fluids Engineering*, 107(2), 165-172.
52. "ANSYS Fluent 15 User's Guide", Fluent Inc. (2014)



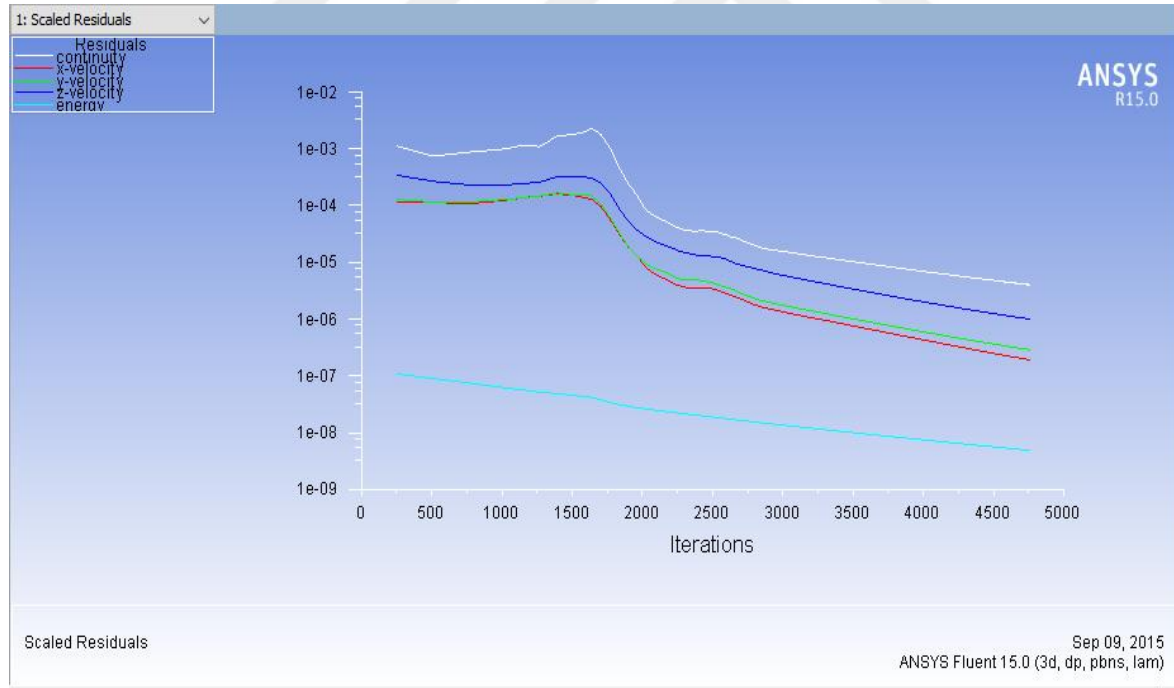




## EK-1. Sayısal çözümlerin doğruluğunun kontrolü

Sayısal çözümlerinin doğruluğunun kontrolü, ısıtıcıların kanal alt ve üst yüzeylerinde iken akış yönlendirici plaka kullanılması ve plaka kullanılmaması durumları için gerçekleştirilmiştir. Bölüm 4’de anlatılmış olan çözümlerin doğruluğuna ilişkin kriterlerin incelenmesi aşağıda verilmektedir.

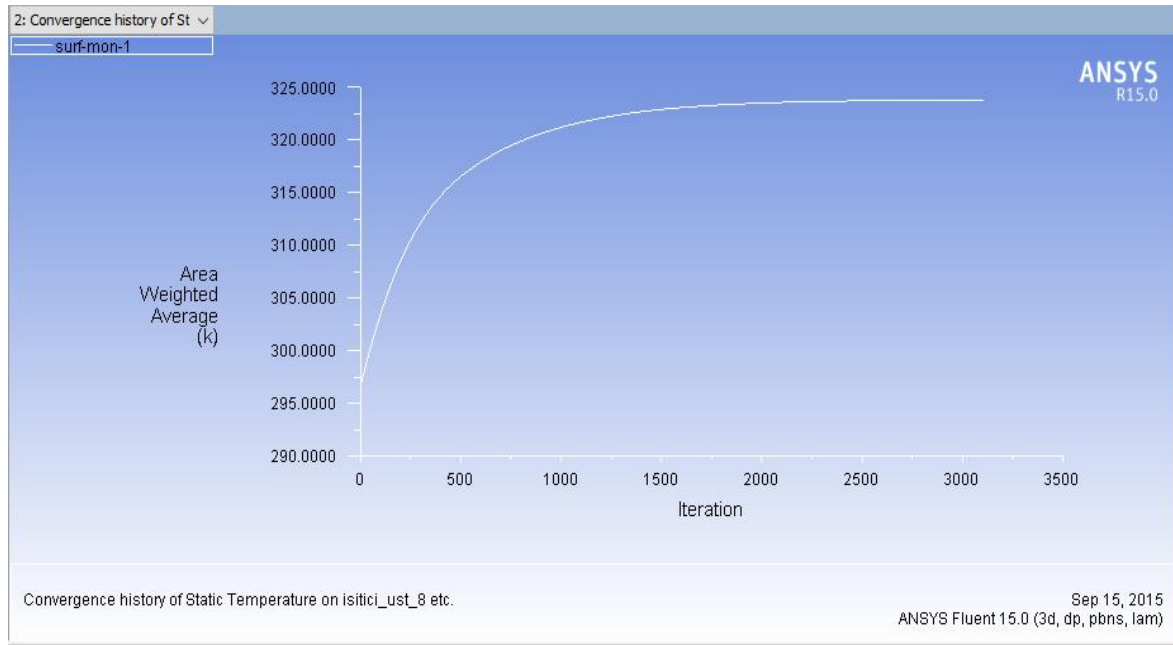
Sayısal çözümler sırasında kütle, momentum ve enerji korunumu denklemleri için iterasyon sayısına bağlı olarak oluşan kalıntı (residuals) değerlerinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu değerlerin tüm hesaplama boyunca azalan şekilde değişmesi çözümün yakınsadığını gösterir. Tüm denklemler için kalıntı değerlerinin mümkün olduğunca sıfıra yakın olması çözümün doğruluğu açısından önem teşkil etmektedir. Şekil 1.1’de görüldüğü gibi kalıntı değerlerinin kütle ve momentum korunumu için  $1 \times 10^{-6}$ ’dan, enerji denklemleri için ise  $1 \times 10^{-10}$ ’den küçük olduğu duruma kadar azalarak devam etmiştir.



Şekil 1.1. Kalıntı ve iterasyon sayısı için örnek grafik

## EK-1. (Devam) Sayısal çözümlerin doğruluğunun kontrolü

Sayısal çözümler sonucunda kalıntı değerlerinde yakınsamanın gerçekleştiğinin kontrolü için gerekli diğer bir koşul ise ısıtıcı sıcaklıklarının belirli bir iterasyon sayısından sonra sabit değerlerde kalması gerektiğidir. Şekil 1.2’de bu koşulun sağlandığını gösteren ortalama ısıtıcı sıcaklık-iterasyon grafiği örneği verilmiştir.



Şekil 1.2. Ortalama sıcaklık-iterasyon grafiği örneği

Sayısal çözümlerlerin doğruluğunun kontrolündeki bir diğer aşama ise korunum denklemlerinin sağlanıp sağlanmadığının kontrol edilmesidir. Bu nedenle sayfa 148’de gösterildiği gibi tüm sınırlardan olan ısı ve kütle akısı değerleri toplamının sayısal çözümler sonucunda sıfıra çok yakın değerler alması gerekmektedir.

## EK-1. (Devam) Sayısal çözümlerin doğruluğunun kontrolü

Tüm sınırlardan olan kütleli debi toplamı

| Mass Flow Rate         | (kg/s)               |
|------------------------|----------------------|
| cikis                  | -0.0028560002        |
| giris                  | 0.0028560002         |
| interior-part_20-solid | -1.0601956           |
| isiitci_ust_6          | 0                    |
| isitici_alt_1          | 0                    |
| isitici_alt_2          | 0                    |
| isitici_alt_3          | 0                    |
| isitici_alt_4          | 0                    |
| isitici_alt_5          | 0                    |
| isitici_alt_6          | 0                    |
| isitici_alt_7          | 0                    |
| isitici_alt_8          | 0                    |
| isitici_ust_1          | 0                    |
| isitici_ust_2          | 0                    |
| isitici_ust_3          | 0                    |
| isitici_ust_4          | 0                    |
| isitici_ust_5          | 0                    |
| isitici_ust_7          | 0                    |
| isitici_ust_8          | 0                    |
| pleksiglas             | 0                    |
| teflon                 | 0                    |
| <b>Net</b>             | <b>6.0715322e-18</b> |

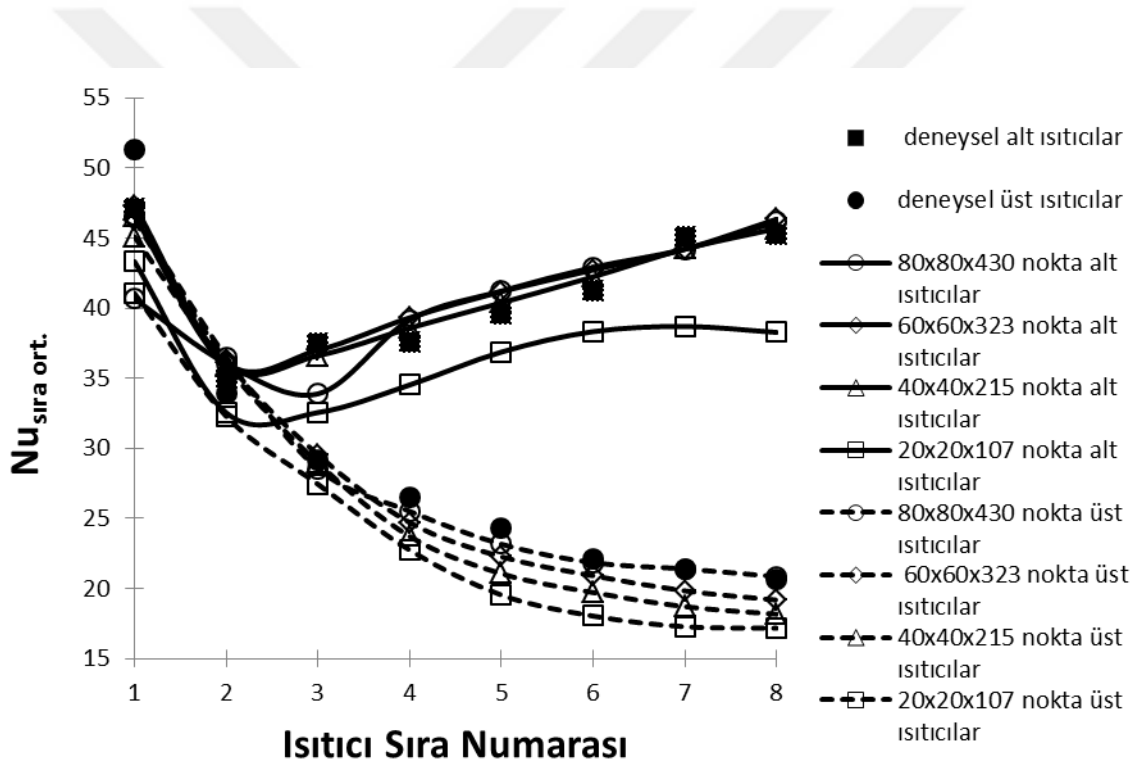
Tüm sınırlardan olan ısı transferi toplamı

| Total Heat Transfer Rate | (w)                  |
|--------------------------|----------------------|
| cikis                    | -3.414165            |
| giris                    | -4.3139883           |
| isiitci_ust_6            | 0.44546443           |
| isitici_alt_1            | 0.50175251           |
| isitici_alt_2            | 0.49933699           |
| isitici_alt_3            | 0.50161371           |
| isitici_alt_4            | 0.5031501            |
| isitici_alt_5            | 0.50322447           |
| isitici_alt_6            | 0.50257902           |
| isitici_alt_7            | 0.50212812           |
| isitici_alt_8            | 0.50202482           |
| isitici_ust_1            | 0.50086326           |
| isitici_ust_2            | 0.49612117           |
| isitici_ust_3            | 0.48383424           |
| isitici_ust_4            | 0.46590606           |
| isitici_ust_5            | 0.45376562           |
| isitici_ust_7            | 0.43614411           |
| isitici_ust_8            | 0.43054967           |
| pleksiglas               | 0                    |
| teflon                   | 0                    |
| <b>Net</b>               | <b>0.00030500401</b> |



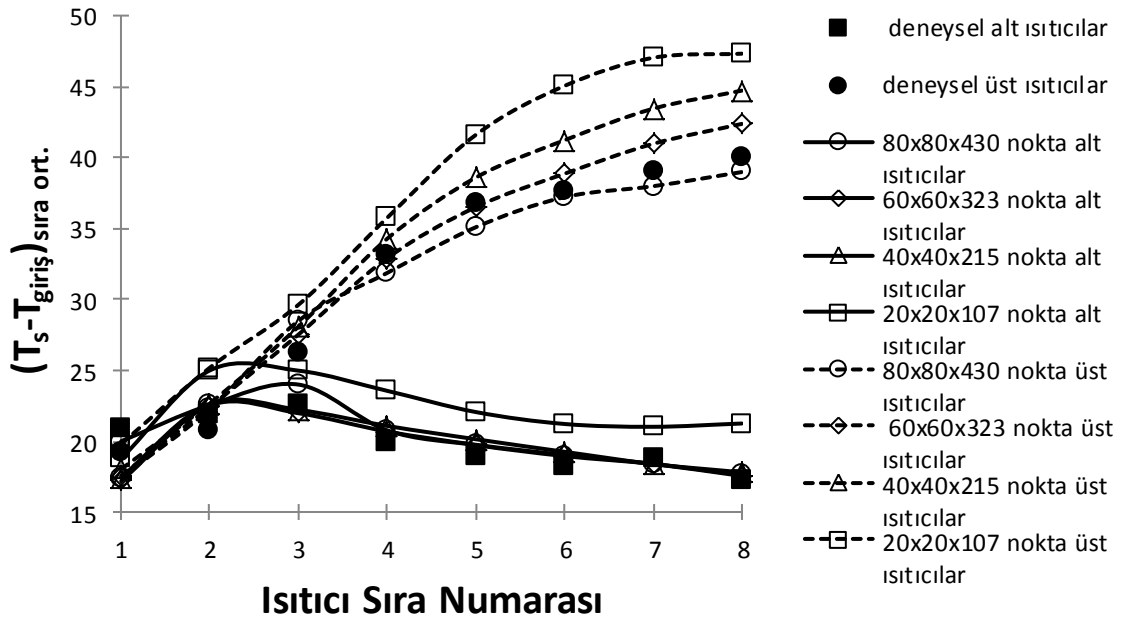
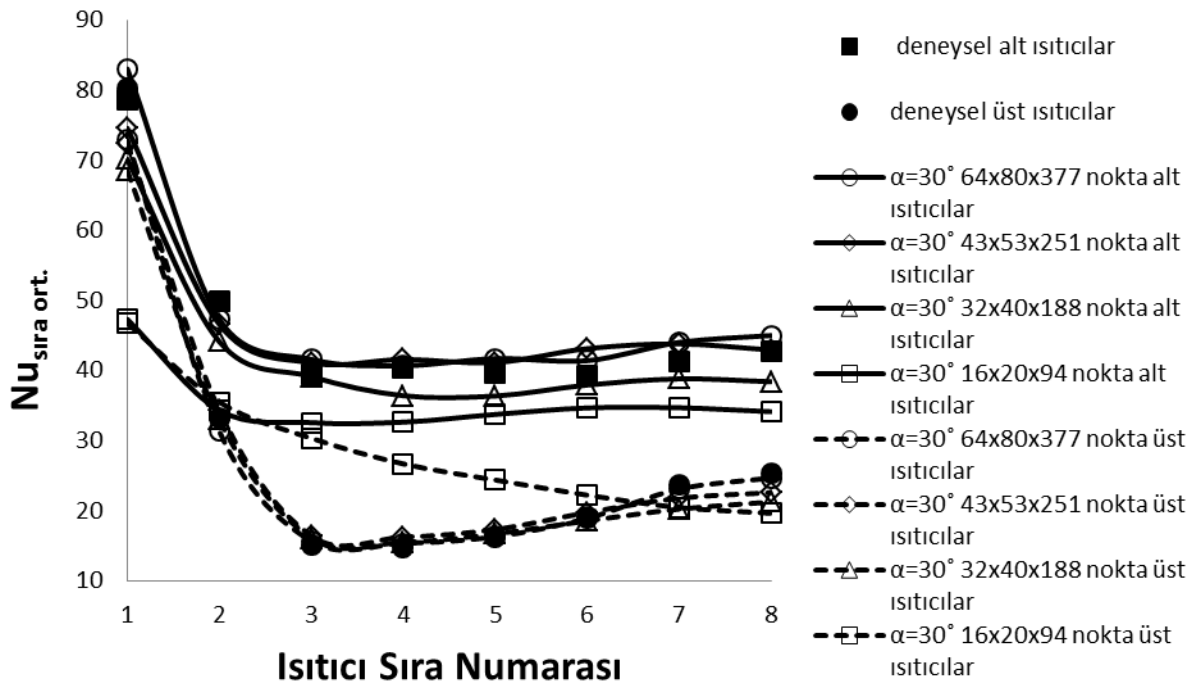
EK-1. (Devam) Sayısal çözümlerin doğruluğunun kontrolü

Sayısal çözümlerinin yakınsama değerleri ve korunum denklemlerinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edikten sonraki aşamada ise çözümlerin hücre yapısından bağımsız olup olmadığının kontrolü gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla plakalı ve plakasız durumlar için farklı hücre sayılarında denemeler yapılmış elde edilen sonuçlar birbirleri ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Şekil 1.5-1.8'deki örnek grafiklerde görüldüğü gibi plakasız durum için x, y ve z eksenleri boyunca sırası ile 80x80x430 nokta, plaka açısının 30° olduğu durumda ise 64x80x377 nokta içeren hücre yapıları tüm ısıtıcı sıraları ele alındığında deneysel sonuçlarla uyum sağlamıştır.

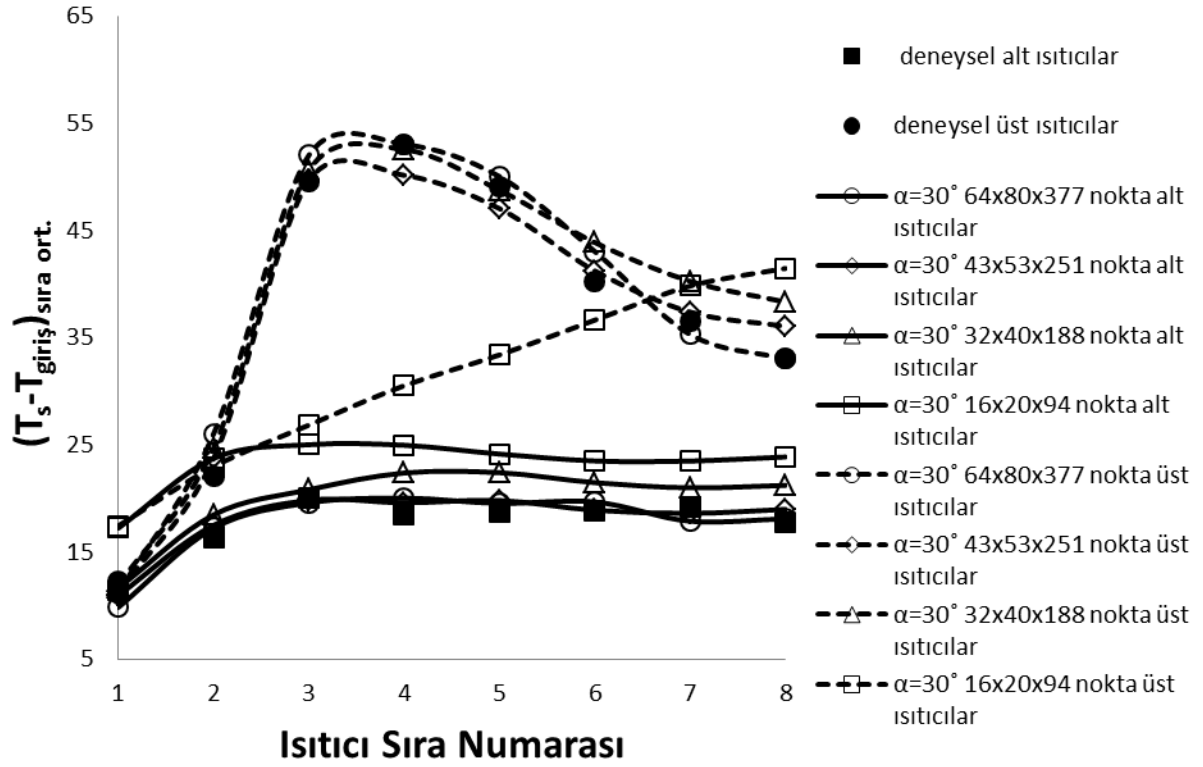


Şekil 1.5. Plakasız durum için farklı hücre sayılarında Nu Sayısı değerleri ( $Re=2000$ ,  $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $H/W=1/2$ )

EK-1. (Devam) Sayısal çözümlerin doğruluğunun kontrolü

Şekil 1.6. Plakasız durum için farklı hücre sayılarında sıra ortalama  $T_s - T_{giriş}$  değerlerinin karşılaştırılması (Re=2000, Gr\*=3x10<sup>8</sup>, H/W=1/2)Şekil 1.7. Plakalı durum için farklı hücre sayılarında sıra ortalama Nu Sayısı değerlerinin karşılaştırılması (Re=2000, Gr\*=3x10<sup>8</sup>, L<sub>P</sub>/H=3/20, H/W=1/2)

## EK-1. (Devam) Sayısal çözümlerin doğruluğunun kontrolü



Şekil 1.8. Plakalı durum için farklı hücre sayılarında sıra ortalama  $T_s - T_{giriş}$  değerlerinin karşılaştırılması ( $Re=2000$ ,  $Gr^*=3 \times 10^8$ ,  $L_p/H=3/20$ ,  $H/W=1/2$ )



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı :KURŞUN, Burak  
 Uyuğu :T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri :07.02.1981, Amasya  
 Medeni hali :Evli  
 Telefon :0(532)402 36 27  
 Faks :0(358)252 52 17  
 e-mail :burak.kursun@amasya.edu.tr



### Eğitim

| Derece       | Eğitim Birimi                                       | Mezuniyet tarihi |
|--------------|---|------------------|
| Yükseklisans | Dokuz Eylül Üniversitesi/Makine Mühendisliği Bölümü | 2008             |
| Lisans       | Dokuz Eylül Üniversitesi/Makine Mühendisliği Bölümü | 2006             |
| Lise         | Amasya Lisesi                                       | 1999             |

### İş Deneyimi

| Yıl       | Yer                 | Görev                      |
|-----------|---------------------|----------------------------|
| 2006-2008 | PMD Yapı Denetim    | Yardımcı Kontrol Mühendisi |
| 2010-2015 | Amasya Üniversitesi | Öğretim Görevlisi          |

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayımlar

#### Bildiri

Kurşun, B., Küçüka, S., “DEÜ Hastanesi Klima Santralleri Jeotermal Destekli Sıcak Sulu

Isıtma Sisteminin Hidrolik Dengelenmesi”, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, MMO Yayını, s.:271-285, 2009.

### Makale

Kurşun B., Küçüka S., “Sıcak ve Soğuk Su Dağıtım Hatlarında Kontrol Vanası Karakteristiği”, Soğutma Dünyası Dergisi (ESSİAD), 11, sayı 42, 56-66, 2008.

Sivrioğlu M., Kurşun B., “Akış Yönlendirici Plaka Kullanımının Yatay Bir Kanal İçerisindeki Çıkıntılı Isı Kaynaklarından Olan Isı Transferine Etkisi”, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt 3, Sayı 2, 644-654, Temmuz 2015

### **Hobiler**

Spor, Müzik, Sinema



*GAZİ GELECEKTİR..*