

**YÜZEYLERİNE AYRIK ISITICILAR YERLEŞTİRİLMİŞ  
DİKDÖRTGEN KESİTLİ KANALDA ANA AKIMA KARŞI  
YERLEŞTİRİLEN PLAKANIN KARIŞIK KONVEKSİYONLA ISI  
TRANSFERİNE ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

**Berzan BEZEK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2006  
ANKARA**

Berzan BEZEK tarafından hazırlanan YÜZEYLERİNE AYRIK ISITICILAR YERLEŞTİRİLMİŞ DİKDÖRTGEN KESİTLİ KANALDA ANA AKIMA KARŞI YERLEŞTİRİLEN PLAKANIN KARIŞIK KONVEKSİYONLA ISI TRANSFERİNE ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU

Tez Yöneticisi

Bu alıŐma, jürimiz tarafından oy birliği/ oy çokluğu MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: :Prof. Dr. Őenol BAŞKAYA

Üye : Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU

Üye : Doç. Dr. İrfan AR

Üye : Doç. Dr. Murat DOĞAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. İbrahim ATILGAN

Tarih : 20/10/2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

**Berzan BEZEK**

**YÜZEYLERİNE AYRIK ISITICILAR YERLEŞTİRİLMİŞ  
DİKDÖRTGEN KESİTLİ KANALDA ANA AKIMA KARŞI  
YERLEŞTİRİLEN PLAKANIN KARIŞIK KONVEKSİYONLA ISI  
TRANSFERİNE ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Berzan BEZEK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Eylül 2006**

**ÖZET**

Bu çalışmada, elektronik elemanları temsil eden, ısı yayan çiplere sahip yatay bir kanalda, laminer akış şartlarında, karışık konveksiyon ile ısı transferi sürekli şartlarda sayısal olarak incelenmiştir. Elektronik sistemlerin soğutulması bu sistemlerin güvenli çalışabilmesi için önemlidir. Elektronik sistemin etkin bir şekilde soğutulması, yonga sıcaklıklarının emniyetli çalışma sıcaklıklarını aşmaması, soğutma sisteminin oluşturduğu akış şartlarına, geometrik boyutlara, yongaların yerleşimine ve diğer etkilere bağlıdır.

Şimdiki çalışma alt ve üst yüzeylerinde ayırık ısı kaynakları bulunan dikdörtgen kesitli bir kanalda ana akıma karşı yerleştirilen plakanın karışık konveksiyon ile ısı transferine etkisini sayısal olarak inceleyen bir çalışmadır. Geometri gereği akış üç boyutludur. Isıtıcıların her biri kare geometrili olarak modellenmiştir. Problemin çözümünde GAMBIT 2.0 ve FLUENT 6.0 paket programları kullanılmıştır. Engelli ve engelsiz durumlardaki ısıtıcı sıra ortalama Nusselt sayısı dağılımlarıyla, Grashof ve Reynolds sayılarının akışa

etkileri incelenmiştir. Sayısal yöntem ile bulunan, vektörel hız dağılımları ve kontur grafikleri şeklindeki sıcaklık dağılımları ayrıntılı olarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlarda en/yükseklik oranı (W/H)' nin azalmasıyla kanal içerisinde doğal konveksiyon etkisinin ısı transferi üzerinde önemli rol oynadığı ve karışık konveksiyonun oluşmasına neden olduğu görülmüştür. Kanal çıkışına konulan plakanın alt ve üst yüzey ısıtıcı sıcaklıklarını önemli ölçüde azalttığı görülmüştür.

**Bilim Kodu** : 912.1.080  
**Anahtar Kelimeler** : Karışık konveksiyon, Ayrık Isı Kaynakları, Sayısal Analiz, Isı Transferi, Elektronik cihazların soğutulması  
**Sayfa Adedi** : 134  
**Tez Yöneticisi** : Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU

**NUMERICAL INVESTIGATION OF EFFECTS OF A FLAT PLATE  
PLACED AGAINST THE MAIN FLOW ON MIXED CONVECTION  
HEAT TRANSFER INSIDE A RECTANGULAR CROSS-SECTION  
CHANNEL WITH THE DISCRETE HEAT SOURCES ON THE WALLS**

**(M.Sc. Thesis)**

**Berzan BEZEK**

**GAZI UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**September 2006**

**ABSTRACT**

**In this study, the mixed convection heat transfer has been investigated numerically under steady flow conditions for the laminar flow in a horizontal channel with heat dissipating chips representing electronic components. It is well known that cooling mechanisms are quite important for the safety of electronic systems. Keeping the operating temperatures of electronic systems below the limits, by an effective cooling, mechanism is a function of flow conditions created by the cooling system, geometrical dimensions, the location of heat dissipating chips and other effects.**

**The present study is a numerical analysis of the effects of a flat plate placed at a position facing the main flow on the mixed convection heat transfer inside a rectangular cross-section channel with discrete heat sources at the top and at the bottom. The flow is three dimensional due to the geometry of the problem. Each of the heat sources has been modelled as a square geometry. The commercial softwares named as GAMBIT 2.0 and FLUENT 6.0 have been used**

for the solution of problem. The row-average Nusselt number distribution and the effects of Grashof and Reynolds on the fluid flow have been investigated for both of the cases with and without a flat plate. The distributions of velocity vectors and temperature contours have been determined numerically and the results have been presented in detail.

The results show that with decreasing the width height ratio(W/H) the effect of free convection plays a more important role and causes the mixed convection heat transfer. They also show that the plate placed near the exit of channel may effectively decrease temperatures of heaters at the top and bottom compared to those of the channel without any flat plate placed against the main fluid flow.

**Science Code** : 912.1.080  
**Key Words** : Discrete heat sources, mixed convection, heat transfer, Numerical analysis, cooling of electronic equipment  
**Page Number** : 134  
**Adviser** : Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren tez hocam Prof. Dr. Mecit SİVRİOğLU' na, maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme ve arkadaşlarıma teőekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI .....	4
3. PROBLEMİN TANITILMASI .....	12
3.1. Kullanılan Geometri ve Koordinat Sistemi .....	12
3.2. Temel Denklemler .....	14
3.2.1. Sınır şartları .....	15
3.2.2. Çeşitli parametre değerlerinin hesaplanması .....	17
3.2.3. Boyut analizi .....	21
3.3. Sayısal Çözüm Yöntemi .....	24
3.3.1. Gambit modülü .....	25
3.3.2. Xserver (Hummingbird connectivity) modülü .....	25
3.3.3. Tgrid modülü .....	25
3.3.4. Fluent modülü .....	26

	<b>Sayfa</b>
4. SAYISAL SONUÇLAR .....	27
4.1. Deneysel sonuçlarla Karşılaştırma .....	30
4.2. Sayısal Yöntemle Yapılan Çalışmada Ele Alınan Şartlar .....	33
4.3. Engelli ve Engelsiz Durumda Çeşitli Parametrelerin Isı Transferine Etkilerinin Analizi .....	35
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	70
KAYNAKLAR .....	72
EKLER .....	74
EK-1 Yapılan çalışmanın Gambitte modellenmesi ve Fluent' de çözülmesi.....	75
ÖZGEÇMİŞ .....	134

**ÇİZELGELERİN LİSTESİ**

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.1. Sayısal çalışma programı .....	34

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Koordinat sistemi ve kanal geometri.....	13
Şekil 3.2. Isıtıcıların boyutları.....	13
Şekil 3.3. Kanal içerisinde enerjinin korunumu.....	17
Şekil 4.1. $W/H=10$ ve $Re_{Dh}=937$ ' de $Gr^*=6,4 \times 10^6$ hücre yapısının alt ısıtıcı sıra ortalama Nusselt sayısına etkisi .....	29
Şekil 4.2. $W/H=10$ ve $Re_{Dh}=937$ ' de $Gr^*=6,4 \times 10^6$ süpürme sayısının alt ısıtıcı sıra ortalama Nusselt sayısına etkisi .....	29
Şekil 4.3. $W/H=10$ ve $Re_{Dh}=937$ ' de $Gr^*=6,4 \times 10^6$ sıra ortalama üst Nusselt sayılarının karşılaştırılması .....	31
Şekil 4.4. $W/H=10$ ve $Re_{Dh}=937$ ' de $Gr^*=6,4 \times 10^6$ sıra ortalama alt Nusselt sayılarının karşılaştırılması .....	32
Şekil 4.5. $W/H=10$ ve $Re_{Dh}=937$ ' de $Gr^*=2,8 \times 10^6$ sıra ortalama üst Nusselt sayılarının karşılaştırılması .....	32
Şekil 4.6. $W/H=10$ ve $Re_{Dh}=937$ ' de $Gr^*=2,8 \times 10^6$ sıra ortalama alt Nusselt sayılarının karşılaştırılması .....	33
Şekil 4.7. $W/H=2$ ve $Re_{Dh}=2300$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama üst Nusselt sayısına etkisi .....	36
Şekil 4.8. $W/H=2$ ve $Re_{Dh}=2300$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama alt Nusselt sayısına etkisi .....	37
Şekil 4.9. $W/H=2$ ve $Re_{Dh}=1750$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama üst Nusselt sayısına etkisi .....	37
Şekil 4.10. $W/H=2$ ve $Re_{Dh}=1750$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama alt Nusselt sayısına etkisi .....	38
Şekil 4.11. $W/H=2$ ve $Re_{Dh}=550$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama üst Nusselt sayısına etkisi .....	39
Şekil 4.12. $W/H=2$ ve $Re_{Dh}=550$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama alt Nusselt sayısına etkisi .....	40

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.13. $W/H=2$ ve $Re_{Dh}=150$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama üst Nusselt sayısına etkisi .....	41
Şekil 4.14. $W/H=2$ ve $Re_{Dh}=150$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama alt Nusselt sayısına etkisi .....	42
Şekil 4.15. $W/H=2$ ve $Re_{Dh}=75$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama üst Nusselt sayısına etkisi .....	43
Şekil 4.16. $W/H=2$ ve $Re_{Dh}=75$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama alt Nusselt sayısına etkisi .....	44
Şekil 4.17. $W/H=10$ ve $Re_{Dh}=2300$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama üst Nusselt sayısına etkisi .....	45
Şekil 4.18. $W/H=10$ ve $Re_{Dh}=2300$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama alt Nusselt sayısına etkisi .....	45
Şekil 4.19. $W/H=10$ ve $Re_{Dh}=1750$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama üst Nusselt sayısına etkisi .....	46
Şekil 4.20. $W/H=10$ ve $Re_{Dh}=1750$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama alt Nusselt sayısına etkisi .....	47
Şekil 4.21. $W/H=10$ ve $Re_{Dh}=550$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama üst Nusselt sayısına etkisi .....	48
Şekil 4.22. $W/H=10$ ve $Re_{Dh}=550$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama alt Nusselt sayısına etkisi .....	48
Şekil 4.23. $W/H=10$ ve $Re_{Dh}=150$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama üst Nusselt sayısına etkisi .....	49
Şekil 4.24. $W/H=10$ ve $Re_{Dh}=150$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama alt Nusselt sayısına etkisi .....	50
Şekil 4.25. $W/H=10$ ve $Re_{Dh}=75$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama üst Nusselt sayısına etkisi .....	50
Şekil 4.26. $W/H=10$ ve $Re_{Dh}=75$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama alt Nusselt sayısına etkisi .....	51

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.27. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=2300$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama üst Nusselt sayısına etkisi .....	52
Şekil 4.28. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=2300$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama alt Nusselt sayısına etkisi .....	53
Şekil 4.29. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=1750$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama üst Nusselt sayısına etkisi .....	53
Şekil 4.30. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=1750$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama alt Nusselt sayısına etkisi .....	54
Şekil 4.31. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=550$ ' için üst duvar ısıtıcı sıcaklıklarının ısıtıcı sırasına göre değişimi.....	55
Şekil 4.32. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=550$ ' için alt duvar ısıtıcı sıcaklıklarının ısıtıcı sırasına göre değişimi.....	55
Şekil 4.33. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=550$ ve $Gr_{Dh}^*=1 \times 10^8$ için z-y düzleminde sıcaklık kontur grafiği .....	56
Şekil 4.34. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=550$ ve $Gr_{Dh}^*=1 \times 10^8$ için x-z düzleminde hız profilleri .....	56
Şekil 4.35. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=550$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama üst Nusselt sayısına etkisi.....	57
Şekil 4.36. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=550$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama alt Nusselt sayısına etkisi.....	58
Şekil 4.37. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=150$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama üst Nusselt sayısına etkisi.....	59
Şekil 4.38. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=150$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama alt Nusselt sayısına etkisi.....	59
Şekil 4.39. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=75$ ve $Gr_{Dh}^*=1 \times 10^8$ için y-z düzleminde sıcaklık kontur grafiği .....	60
Şekil 4.40. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=75$ ve $Gr_{Dh}^*=1 \times 10^8$ için y-z düzleminde hız Profilleri.....	61

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.41. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=75$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama üst Nusselt sayısına etkisi.....	62
Şekil 4.42. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=75$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama alt Nusselt sayısına etkisi.....	62
Şekil 4.43. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=2300$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama üst Nusselt sayısına etkisi.....	63
Şekil 4.44. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=2300$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama alt Nusselt sayısına etkisi.....	64
Şekil 4.45. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=1750$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama üst Nusselt sayısına etkisi.....	65
Şekil 4.46. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=1750$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama alt Nusselt sayısına etkisi.....	65
Şekil 4.47. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=550$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama üst Nusselt sayısına etkisi.....	66
Şekil 4.48. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=550$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama alt Nusselt sayısına etkisi.....	67
Şekil 4.49. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=150$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama üst Nusselt sayısına etkisi.....	68
Şekil 4.50. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=150$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama alt Nusselt sayısına etkisi.....	68
Şekil 4.51. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=75$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama üst Nusselt sayısına etkisi.....	69
Şekil 4.52. $W/H=6$ ve $Re_{Dh}=75$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama alt Nusselt sayısına etkisi.....	69

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
<b>A</b>	Katsayı
<b>A<sub>b</sub></b>	Isıtıcı yüzey alanı, m <sup>2</sup>
<b>A<sub>k</sub></b>	Kanal kesit alanı, m <sup>2</sup>
<b>A<sub>yalt</sub></b>	Yalıtım alanı, m <sup>2</sup>
<b>C<sub>p</sub></b>	Özgül ısı, kJ/kg°C
<b>D<sub>h</sub></b>	Kanal hidrolik çapı, m
<b>G</b>	Yerçekimi ivmesi, m/s <sup>2</sup>
<b>Gr</b>	Grashof sayısı,
<b>Gr*</b>	Düzeltilmiş Grashof sayısı,
<b>H</b>	Isı transferi katsayısı, W/m <sup>2</sup> °C
<b>H</b>	Kanal yüksekliği, m
<b>H<sub>p</sub></b>	Plaka yüksekliği
<b>K</b>	Isı İletim katsayısı, W/m°C
<b>L</b>	Uzunluk, m
<b><math>\dot{m}</math></b>	Kütlesel debi, kg/s
<b>N</b>	Yüzey sayısı
<b><math>\overline{Nu}_{DhÜstj}</math></b>	Isıtıcı sıra ortalama Nusselt sayısı (üst yüzey durumunda)
<b><math>\overline{Nu}_{DhAltj}</math></b>	Isıtıcı sıra ortalama Nusselt sayısı (alt yüzey durumunda)
<b>Pr</b>	Prandtl sayısı
<b><math>\dot{q}^n</math></b>	Konveksiyonla olan ısı akısı. W/m <sup>2</sup>
<b><math>q_{konv}</math></b>	
<b><math>\dot{q}^n</math></b>	Isıtıcıya verilen ısı akısı. W/m <sup>2</sup>
<b><math>q</math></b>	

**Simgeler** $\dot{Q}$  $\dot{Q}_{konv}$  $\dot{Q}_{kond}$ **Re****Ri****t****T****u****v****W****W<sub>0</sub>****w****W/H** $\beta$  $\alpha$  $\mu$  $\nu$  $\sigma$  $\rho$ **Açıklamalar**

Isıtıcıya verilen ısı akımı. W

Konveksiyonla olan ısı akımı. W

Isı İletimiyle olan ısı akımı. W

Reynolds sayısı,

Richardson sayısı

Zaman

Sıcaklık, °C

x-yönündeki hız. m/s

y-yönündeki hız. m/s

Kanal eni

Üniform hız, m/s

z- yönündeki hız, m/s

Kanalın en/yükseklik oranı

Genleşme katsayısı, 1/K

Isıl yayılım katsayısı

Dinamik Vizkosite, kg/ms

Kinematik Vizkosite, m<sup>2</sup>/sStefan – Boltzmann sabiti,  
5,67x10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>Yoğunluk, kg/m<sup>3</sup>

**Alt indisler**

i

j

s

Tot

Vernet

o

**Üst indisler**

-

\*

**Açıklamalar**

Dizi numarası (x yönü)

Sıra numarası (z yönü)

Isıtıcı yüzeyi

Toplam

Verilen net

Giriş şartı

**Açıklamalar**

Ortalama değer

Düzeltilmiş değer

## 1. GİRİŞ

Elektronik sanayindeki hızlı gelişmeler elektronik cihazların kullanım sahalarının giderek genişlemesine ve sistemlerin soğutulmasının çok daha önemli hale gelmesine neden olmuştur. Teknolojinin gelişmesiyle elektronik elemanlar küçülmekte devre sayısı ve ısınma sonucu ortaya çıkan birim hacimden uzaklaştırılması gereken enerji miktarı da buna göre artmaktadır.

Elektronik sistemlerde kullanılan elektrik enerjisinin büyük bir bölümü ısı enerjisiye dönüşmektedir. Elektronik eleman kalitesinin artması sonucu, bilgisayarlarda işlem hızı sürekli artarken boyutları küçülmektedir. Elektronik cihazların boyutlarının küçülmesi nedeniyle hava uzay sanayi, haberleşme, bilgisayar ve deniz sanayi gibi birçok mühendislik uygulamalarında cihazların verimli çalışabilmeleri için uygun iklim şartlarının sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle özellikle son yıllarda elektronik devrelerde ısı transferi üzerine çok sayıda araştırmalar yapılmaktadır.

Elektronik parçaların performansları sıcaklığa bağlı olduğundan soğutulmaları büyük önem taşımaktadır. Elektronik sistemlerin soğutulmasında değişik metotlar ve değişik soğutucu akışkanlar kullanılmıştır. Soğutucu olarak havanın kullanıldığı sistemlerde doğal, zorlanmış ve karışık konveksiyon uygulamalarına rastlamak mümkündür. Bu çalışmada hava kullanılmıştır. Soğutucu akışkan olarak hava kullanılmasının nedeni havanın bol miktarda bulunması hava ile çalışan soğutma sistemi tasarımının ve bakımının kolay, maliyetinin düşük ve güvenilirliğinin yüksek olmasıdır.

Doğal konveksiyon ve zorlanmış konveksiyonun beraber dikkate alındığı karışık konveksiyon çalışmasının mühendislik sahasında birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Güneş kolektörü, kompakt ısı değiştirgeçleri, kimyasal proses sistemleri, iklimlendirme ve havalandırma sistemleri ve özellikle elektronik sistemlerin soğutulması bu uygulama alanlarından bazılarıdır.

Doğal konveksiyon ile soğutma düşük ısı akılarına sahip sistemlerde zorlanmış konveksiyonla soğutma ise yüksek ısı akılarına sahip sistemlerde uygulanmaktadır. Fakat bu tür soğutmanın yüksek fan gücüne ihtiyaç duyması ve bu fandan kaynaklanan titreşimlerin sistemi olumsuz yönde etkilemesi gibi dezavantajları vardır. Araştırmacılar birçok durumda doğal ve zorlanmış konveksiyon etkilerinin bir arada incelenmesi gerektiği durumları fark ederek bu yönde çalışma yapmışlardır. Bu etkilerden hangisinin daha baskın olduğunun ölçüsü Richardson sayısı ( $Gr/Re^2$ ) ile belirlenir.

$(Gr/Re^2) \ll 1$  olduğunda, zorlanmış konveksiyon etkisi daha baskındır ve doğal konveksiyon etkisi ihmal edilebilir.

$(Gr/Re^2) \gg 1$  olduğunda, doğal konveksiyon etkisi daha baskındır ve zorlanmış konveksiyon etkisi ihmal edilebilir.

$(Gr/Re^2) \approx 1$  doğal ve zorlanmış konveksiyon etkileri yakın şiddette olduğu için karışık konveksiyon söz konusudur.

Zorlanmış akımla, kaldırma kuvvetleri aynı yönde olduğunda doğal konveksiyon akımları şiddet kazanır. Bu akımlara desteklenmiş akımlar ( assisting flow ) denir. Zorlanmış akımların yönü kaldırma kuvvetlerine ters ise akımlar yavaşlar. Bu tür akımlara ters akımlar ( opposing flow ) denir.

Karışık konveksiyon Nusselt sayısının ( boyutsuz ısı aktarım katsayısının ) hesaplanması için aşağıdaki bağıntı önerilmektedir.

$$Nu^n = Nu^n_{zorlanmış} + Nu^n_{doğal}$$

Burada görülen ( $Nu_{zorlanmış}$ ) zorlanmış konveksiyon ve ( $Nu_{doğal}$ ) doğal konveksiyon için Nusselt sayılarıdır. Bu denklemdeki + ya da - işareti akımların destekli veya ters olmasına bağlıdır. n sayısı akım şekli ve geometriye göre değişik değerler almaktadır.

Bu çalışmada, doğal ve zorlanmış konveksiyonun birlikte dikkate alındığı karışık konveksiyon durumu için yüzeylerine ayrıık ısıtıcılar yerleştirilmiş dikdörtgen kesitli bir kanalda ana akıma karşı kanal çıkışına konulan plakanın ısı transferine etkisi incelenmiştir. Sistemin geometrik yapısı, akışın Reynolds sayısı ve elektronik elemanlar gibi parametre değerlerinin emniyetli çalışma sıcaklıklarının sağlanması için nasıl değiştirilmesi gerektiği sayısal olarak çalışılmıştır.

## 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Maughan ve Incropera yapmış oldukları çalışmada yatay ve eğimli bir kanal içerisinde karışık konveksiyonla gerçekleşen ısı transferini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışma akışkanı olarak hava ( $Pr=0,7$ ) kullanmışlardır. Deneyler  $Re$  sayısının  $125 < Re < 500$ ,  $Gr^*$  sayısının  $7 \times 10^3 < Gr^* < 1 \times 10^6$  ve eğim açısı  $\theta$ ' nin  $0 < \theta < 30$  değerleri arasında yapılmıştır [1].

Incropera ve Schutt, yapmış oldukları bir çalışmada üç boyutlu yatay bir kanalın alt ve üst yüzeyine sabit ısı akısı uygulayarak ikincil akışın davranışını sayısal olarak incelemişlerdir. Reynolds sayısının ( $100 \leq Re \leq 1000$ ) hidrodinamik ve termal şartlar üzerindeki etkilerini parametrik hesaplamalar yaparak belirlemeye çalışmışlardır. Alt ve üst kısmına değişik ısı akıları ( $1,0 \leq q_{üst}/q_{alt} \leq 5,0$  uygulayarak, farklı en/yükseklik oranlarında ( $1 \leq W/H \leq 10$ ), farklı Grashof sayılarında ( $2,5 \times 10^6 \leq Gr^* \leq 6,5 \times 10^6$ ), değişik Prandtl sayılarında ( $6,5-0,7$ ) çalışmalar yapmışlardır. Alt kısımda bulunan ısıtıcının karışık konveksiyonun etkisinde olduğu ve üst kısım ısıtmasından etkilenmediği belirlenmiş, üst kısımda bulunan ısıtıcıda zorlanmış konveksiyonun baskın olduğu ve alt kısım ısıtmasından fazla etkilenmediği belirlenmiştir [2].

Kennedy ve Zebib, izole edilmiş, iki plaka arasındaki akış için karışık konveksiyon şartlarında ısı transferini hem sayısal, hemde deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan çalışmada dikkate alınan yerel ısı kaynakları sabit ısı akılı olup, çalışma  $Re < 100$  ve Grashof sayısının  $5,4 \times 10^5$  değeri için yapılmıştır. Isı kaynağının boyutu değiştirilip, alt ve üst plakaya yerleştirilerek ayrı ayrı incelemeler yapılmıştır. Akışkan olarak hava kullanılmıştır. Yaptıkları bu araştırmada, karışık konveksiyonla gerçekleşen ısı transfer problemini parabolik sayısal metodlar geliştirerek çözmeye çalışmışlardır. Isı kaynağının büyüklüğünü değiştirerek, yatay yöndeki değişimleri incelemişlerdir [3].

Mahaney ve arkadaşları, dikdörtgen kesitli yatay bir kanal tabanına, tabana gömülü olarak yerleştirilmiş,  $3 \times 4$  dizilimli kare şeklindeki ısı kaynaklarından karışık konveksiyonla olan ısı transferini deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Deneyler  $Re$  sayısının 25 ile 2050 arasında değişen değerleri için ve değişik ısı akıları için

yapılmıştır. Sayısal çalışmadan elde edilen üç boyutlu sonuçlar, akışkan olarak su kullanılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır [4].

Huang ve Lin, yatay dikdörtgen kanallarda karışık konveksiyonun ısı karakteristiklerini ve vorteks akışı üç boyutlu ve kararsız rejimde (zamana bağlı) sayısal olarak incelemiştir. Büyük  $W/H$  lı kanalda vorteks akışın yapısındaki değişiklik araştırılmıştır. Bunun yanı sıra kanal eğim açısının da önemi ortaya konmuştur. Ayrıca, karışık konveksiyondaki vorteks akışın gelişiminin önemine dikkat çekilerek, pratikte değişik uygulamaları olduğunu belirtmişlerdir [5].

Tou ve arkadaşları, dikdörtgen kesitli kapalı bir ortamın dikey olan duvarlarından birine yüzeye tamamen gömülü olarak yerleştirilmiş,  $3 \times 3$  dizilimli sabit ısı akılı, ayrık ısı kaynaklarından doğal konveksiyonla olan ısı transferini üç boyutlu olarak sayısal yöntemlerle incelemiştir. Değişik türde soğutucu akışkan ( $Pr=5,9,25,130$ ) kullanılmıştır. Boyutsuz temel denklemler uygun sınır şartlarında yarı implicit sonlu hacim formülasyonu kullanılarak çözülmüştür. Hesaplamalar düzeltilmiş Rayleigh sayısının  $10^4$  ile  $10^8$  arasında değişen değerleri için yapılmıştır. Kapalı ortam geometrik oranı 1'den 20' ye kadar değiştirilmiştir. Düzeltilmiş Ra sayısının, kapalı ortam geometrik oranının ve Pr sayısının ısı transferine olan etkileri incelenmiştir. Sonuçlar akış bölgesinin karmaşık olduğunu ve ayrık ısıtıcılardan transfer edilen ısının üniform olmadığını göstermiştir. Nu ve Ra sayısı arasında bağıntılar geliştirilmiştir [6].

Morcos ve arkadaşları, üniform ısı akılı eğimli dikdörtgen bir kanalda giriş bölgesindeki karışık konveksiyonun ısı transferine etkisini deneysel olarak incelemiştir. Çalışma akışkanı olarak su kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, çevresel duvar sıcaklığı ve Nusselt sayısı dağılımını içermektedir [7].

Narusawa, alttan ısıtılmalı dikdörtgen bir kanalda giriş bölgesinde karışık konveksiyonun sayısal olarak analizini yapmışlardır. Değişik rayleigh sayıları için, dengesizliğin başlangıcı (L1) ve tam gelişmiş karışık konveksiyon şartının sağlandığı aksel mesafenin (L2) belirlenmesini incelemişler ve bunları grafik halinde sunmuşlar. Kaldırma etkili akışın dominant olmadan önce, Nusselt sayısı minimum

bir değere ulaşırdı işte bu nokta dengesizliğin başlangıç mesafesine ( $L_1$ ) karşılık gelir. Bu çalışmada,  $W/H=10$  için dikdörtgen kanalda ısı gelişen azot gazı akışı incelenmiş ve yan yüzeyler adyabatik, alt yüzey üniform ısıtılmış ve üst yüzey izotermal soğutulmuştur. Sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması yapılmış ve uyum içinde olduğu belirtilmiştir. Akışın yapısının incelenmesi sonucunda karışık konveksiyon için dengesizlik başlangıcı ve tam gelişmişlik mesafesinin ısı transportla ilgili olduğu, ayrıca rayleigh sayısı ile ilgili sınır değerleri( gaz giriş sıcaklığı) gibi değişik parametrelerin etkileri araştırılmıştır.  $W/H=10$  için tam gelişmiş durumda Nusselt sayısı, yatay paralel plakalar arasındaki karışık konveksiyon durumu ile karşılaştırılmış ve %8-10 kadar daha düşük olduğu bulunmuştur

Yan duvar sıcaklığı, üst duvar sıcaklığına eşit tutulduğunda tam gelişmiş karışık konveksiyon durumunda kanalın yarısında 6 adet vorteks oluşmaktadır. Yan duvar adyabatik olduğunda vorteks sayısı 5 olarak bulunmuştur [8].

Maughan ve Incropera, alttan üniform ısıtılan paralel plaka kanalında, Laminar hava akışı için, karışık konveksiyon ile ısı transferini araştırmışlardır.  $Re=125-250$  ve  $500$ ,  $Gr^*=7 \times 10^3 - 1 \times 10^6$  ve  $\theta=0-30^\circ$  için enine ve uzunluğuna sıcaklık dağılımları ölçülerek, lokal Nusselt sayısı dağılımı ve yüzey ısı akısı incelenmiştir. Nu sayısı dağılımı ve yüzey ısı akısı incelenmiştir. Nusselt sayısının hesaplanmasından önce radyasyon ve yalıtım kayıpları hesaplanarak gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Boyuna Nusselt sayısı başlangıçta giriş bölgesinde aniden düşmüştür, bu durum sayısal sonuçlarla uyum içindedir. Isıtıcı plakadaki aksel iletim ayrıntılı olarak incelenmiş ve bu çalışmada dikkate alınmıştır. Kaldırma kuvvetli ikincil akışın başlaması nedeniyle Nusselt sayısının, zorlanmış konveksiyon sınırının üzerine çıktığı gözlenmiştir. Dengesizliğin başlangıcı, Groshof sayısının artışı ile artar ve artan kanal eğim açısı ile üst akış bölgesine doğru yaklaşır. Eğimli durumda, ikincil akış gözlenmeden önce ısı transferinin artışı belirlenmiştir. Buna karşılık Reynolds sayısının artışı ile dengesizlik başlangıcının geciktiği gözlenmiştir.

$W/H>60$  için alt akış bölgesinde, Nusselt sayısı tam gelişmiş olarak kabul edilebilir ve yüzey ısı akısına bağlıdır. Yüksek ısı akılarında Rayleigh sayısının üçüncü

dereceden korole edilebilir ve tam gelişmiş bölge, türbülanslı doğal konveksiyon ile karakterize edilebilir. İkincil akışın başlangıcından sonra enine Nusselt değişimleri meydana gelir. Benzer şekilde ikincil akışın varlığı, lokal yüzey sıcaklıklarının zamanla değiştiğini göstermiştir [9,10].

Yapılan başka bir çalışmada, dikey duvarlarından biri üzerinde sabit ısı akılı ayrık bir ısı kaynağı bulunan, dikdörtgen kesitli bir oyuk içerisinde doğal konveksiyonla olan ısı transferi Yücel ve Türkoğlu tarafından incelenmiştir. Bu ısı kaynağı, elektronik devre kartı üzerindeki bir devre elemanı olarak düşünülmüştür. Çalışmalarında sonlu kontrol hacmi yaklaşımı kullanarak, ısı akısının şiddetinin, ısıtıcı eleman ve oyuk boyutlarının sıcaklık dağılımına ve akışkan hareketine etkilerini incelemiştir. Isıtıcı eleman üzerindeki maksimum sıcaklığın eleman boyutunun ve ısı akısının artmasıyla arttığı, buna karşılık oyuk genişliğinin artmasıyla azaldığı görülmüştür [11].

Tso ve arkadaşları, dikey konumda bulunan, dikdörtgen kesitli bir kanalın yine dikey duvarından birine, tek sıra halinde 4 adet elektronik yonga yerleştirerek bu yongalardan tek fazlı zorlanmış konveksiyonla olan ısı transferini deneysel olarak incelemiştir. Akışkan olarak su kullanmışlardır. Yonga sayısı ve değişken kanal yüksekliğini içeren önemli geometrik parametrelerin ısı transferine olan etkileri incelenmiştir. Deneyler Reynolds sayısının  $6 \times 10^2$  ile  $8 \times 10^4$  değişen değerleri için yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar, ısı transfer katsayısının, yonga sayısı, Reynolds sayısı ve az da olsa kanal yüksekliğinden etkilendiğini göstermiştir. Ayrıca sonuçlar hava ile soğutulan sistemlerle de karşılaştırılmıştır [12].

Gururaja ve arkadaşları, dikey bir plaka üzerine plaka yüzeyi ile aynı seviyede yerleştirilmiş bölgesel bir ısı kaynağından karışık konveksiyonla olan ısı transferini incelemiştir. Yüzeyden olan radyasyonla ısı transferi de göz önünde bulundurularak, iki boyutlu, laminer, kararlı, sıkıştırılmaz akış şartlarında ısı transferi incelenmiştir. Temel denklemler, sonlu kontrol hacmi formülasyonu kullanılarak çözülmüştür. Çalışmalarda ısı kaynağının yeri ve büyüklüğünün, plakanın malzeme yüzey özelliklerinin, serbest akım hızının, hem ısı transferi hem de

akış üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen birçok sayısal veri ile boyutsuz plaka sıcaklıkları ve sürtünme katsayısı için bağıntılar geliştirilmiştir [13].

Choi ve Kim, dikdörtgen kanal içerisindeki karışık konveksiyonu üç boyutlu ve sayısal olarak incelemişlerdir. Karışık konveksiyon rejiminde, ısı kaynağının üst yüzeyindeki yerel Nu sayısı, alt yüzeye göre farklı bir biçim göstermiştir. Üst yüzeyde üç boyutlu etkiler özellikle göze çarpmıştır. Çalışmalar,  $0,126 \leq Re \leq 1260$  arasında,  $Gr = 7,87 \times 10^7$ , termal iletkenlik oranı 1 ile 100 arasında ve Pr sayısının 0,71 değeri için yapılmıştır. Nu sayısı Gr ve Re' nin fonksiyonu olacak şekilde bağıntılar elde edilmiştir [14].

Özsunar ve arkadaşları, yapmış oldukları bir başka çalışmada ise yine kanal içerisinde karışık konveksiyonla gerçekleşen ısı transferini deneysel olarak incelemişlerdir. Kanalın yan yüzeyleri adyabatik, üst yüzey çevreye açık ve alt kısma sabit ısı akısı uygulanmıştır. Akışkan olarak hava kullanılan bu çalışmada iki farklı kanal geometrisinde ( $W/H=5$ ,  $W/H=10$ ) ve  $0^\circ \leq \theta \leq 30^\circ$  arasında değişen eğim açılarında çalışılmıştır. Yine bu deneysel çalışmada Reynolds sayısı ( $50 \leq Re \leq 1000$ ) ve Grashof sayısı ( $7,0 \times 10^5 \leq Gr^* \leq 4,0 \times 10^6$ ) arasında deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Dengesizliğin başlangıç mesafesinin, Grashof sayısının ve geometrik oranın artmasıyla, azaldığı görülmüş, diğer taraftan Reynolds sayısı ve eğim açısının artmasıyla, dengesizliğin başlangıç mesafesinin geciktiği görülmüştür [15].

Osborn ve Incropera, yatay paralel plaka kanalda su için karışık konveksiyon ısı transferini deneysel olarak araştırmışlardır. Üniform asimetric ısı akılı paralel plakalar arasında ısıl gelişen bölgede laminar geçiş ve türbülanslı su akışını incelemişlerdir. Bu araştırma üniform ısı akısının kullanıldığı ilk iç akışlı deneysel çalışma olarak değerlendirilir. Isıtıcı plakalar, alüminyum elektrofilm plakalardan oluşmuştur. 42 adet ısıl-çift ısıtıcı plakaya gömülerek lehimlenmiş ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Akış görüntüleme, boya püskürtme ve gölgeleme tekniği kullanarak yapılmıştır.

Osborne, herhangi ısı akısı ve akış hızı kombinasyonu için boyuna varteksleri belirleyememiştir. Altan ısıtma şartlarında, zorlanmış konveksiyonla karakterize edilen üst plaka şartlarına etkisi yoktur ve aynı şekilde üst plaka ısıtma şartlarında, alt plaka ikincil akışa ve ısı transferine etkisi yoktur. Sadece üst plaka yeterli büyüklükte ısıtıldığında, ortalama kütle sıcaklığı artmaktadır. Osborne, Reynolds sayısının sadece akışın ölçeklendirilme etkisine sahip olduğu ve karışık konveksiyon için uygun boyutsuz skala kullanıldığını belirtmiştir. Boyuna Nusselt sayısı dağılımı,  $Z_H^*$  a karşılık çizildiğinde Reynolds sayısından bağımsızdır. Belirgin salınımlarla karakterize edilemez. İkincil akışın başlangıcı, boyutsuz uzunluk cinsinden,

$$Z_H^* = \frac{200}{Re_H^{*3/4}} \quad (2.1)$$

için oluştuğu gözlenmiştir. Laminer akış durumunda karışık konveksiyon için aşağıdaki korelasyonu önermişlerdir.

$$Nu = \left[ 1,656 \left( \frac{Re \cdot Pr \cdot H}{Z} \right) + 0,012 \cdot (Gr^* \cdot Pr)^{3/4} \right]^{1/3} \quad (2.2)$$

Burada karakteristik uzunluk olarak, hidrolik çap yerine plaka yüksekliği (H) alınmış ve  $Gr^*$  ise ısı akısına bağlı olarak modifiye edilmiş Grashof sayısıdır [16].

Cheng ve arkadaşları, üniform ısı akılı yatay dikdörtgen bir kanalda, ısı girişi bölgesinde sonlu farklar metodu kullanarak ısı transferi analizi yapmışlardır. Burada, momentum denklemindeki adveksiyon teriminin ihmal edilmesine izin veren, büyük Prandtl sayılı akışkan kabulü yapmışlardır. Ayrıca parabolik akış kabulü ile momentum ve enerji denklemlerindeki eksenel difüzyon terimlerini de ihmal etmişlerdir. Bu kabuller ışığında çözümü gayet zor olan Navier-Stokes ve enerji denklemleri basite indirgenerek çözümü sayısal olarak oldukça kolay hale getirilmiştir. Böylece, değişik Rayleigh sayısı ve değişik kanal boyutlarında üç boyutlu bir çözüm elde etmeyi başarmışlardır. Burada tanımlanan Nusselt sayısının tanımı ise şöyledir.

$$Nu = \frac{q'' \cdot D_h}{k} \left[ \int (T_w - T_b) dA_p \right]^{-1} \quad (2.3)$$

Bu ifadede aksenal konumdaki bir noktada kanalın çevresi üzerinden integral alınmıştır. Burada,  $q''$  ısı akısı,  $T_w$  duvar ve  $T_b$  ise ortalama akışkan sıcaklığıdır. Her bir Rayleigh sayısı için, lokal Nusselt sayısının minimum değeri verilmiştir. Bu minimum kombine giriş ve ikincil akış etkisi olarak yorumlanmıştır. Buna ilaveten, kaldırma kuvveti nedeniyle olan karışımın Nusselt sayısına etkisi, Rayleigh sayısının artışı ile artar ve  $Ra < 1000$  için bu etki ihmal edilebilir seviyede olduğu beklenmektedir. Diğer bir önemli sonuç ise kaldırma kuvveti etkili ikincil akışın neden olduğu ısı giriş uzunluğunun azalmasının tahmini ile ilgilidir. Lokal Nusselt sayıları, ikincil akış hız dağılımı, duvar ve merkez sıcaklık dağılımlarının, akış çizgileri ve izoterm eğrilerinin çizim sonuçlarını sunmuşlardır [17].

Papanicolaou ve Jaluria, dikdörtgen şeklindeki kapalı bir ortamda hava kullanarak elektronik elemanların soğutulmasına yönelik çalışmalarında, karışık konveksiyon şartlarında ısı transferini sayısal olarak incelemiştir. Havada, duvarlarda ve elektronik elemanlarda meydana gelen ısı transferi, incelenmiştir.  $Gr/Re^2=10$  değerine ulaşana kadar, Reynolds sayısının 100 değeri için laminar, kararlı akış şartları sağlanmıştır.  $Gr/Re^2=50$  değeri için ise, çalışılan birçok konfigürasyon için tek frekanslı salınım davranışları gözlenmiştir. Isı transfer sonuçları hem laminar hemde salınım bölgeleri için elde edilmiştir. Karışık konveksiyonun olduğu  $Gr/Re^2$  aralığı 0.01 ile 10 arasındadır [18].

Doğan ve arkadaşları, yapmış olduğu çalışmada elektronik elemanları temsil eden ısı yayan yongalara (çip) sahip yatay bir kanalda, laminar şartlarında, karışık konveksiyon ile ısı transferi sürekli şartlarda, deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Deneysel çalışmalarda, kanal eninin yüksekliğe oranı ( $W/H$ ), beş farklı değerde alınmıştır. Bunun yanı sıra, değişik Reynolds sayılarında ve ısı akılarında deneyler yapılmıştır. Deneysel sonuçlarla, sayısal yöntem ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her iki yöntemle yapılan çalışmada ısıtıcı sıra ortalama Nusselt

sayısı dağılımlarıyla, Grashof ve Reynolds sayılarının kaldırma kuvveti etkili ikincil akışa etkileri incelenmiştir. Sayısal yöntem ile bulunan, vektörel hız dağılımları ve kontur grafikleri şeklindeki sıcaklık dağılımları, ayrıntılı olarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlarda  $W/H$  oranının (veya geometrik faktörün ) artmasının zorlanmış konveksiyonun etkisini artırdığı ve nusselt sayısındaki artışın, kanal boyuna göre ısıtıcıların ilk sıralarına doğru kaymasına sebep olduğu görülmüştür.  $W/H$  değerinde karışık konveksiyon etkisinin daha önemli olduğu belirlenmiştir [19].

Bu çalışmada, yüzeylerinde ayrık ısı kaynakları bulunan dikdörtgen kesitli bir kanalda ana akıma karşı yerleştirilen plakanın karışık konveksiyon ile ısı transferine etkisi, sayısal olarak incelenmiştir. Sistemin etkin bir şekilde soğutulması, yonga sıcaklıklarının emniyetli çalışma sıcaklıklarını aşmaması, soğutma sisteminin oluşturduğu akış şartlarına, geometrik boyutlara, yongaların yerleşimine ve akıma karşı konulan engellere bağlıdır. Bu çalışmada elektronik sistemlerde soğutucu akışkan hareketi ve sıcaklık dağılımının sistemin geometrik yapısından, akışın Reynolds sayısından ve elektronik elemanlardan yayılan ısıdan nasıl etkilendiğini araştırması ve emniyetli çalışma sıcaklıklarının sağlanmasında uygun şartların belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Şimdiye kadarki çalışmalarda hem alt ve hem de üst duvarında ısıtıcı elemanlar bulunan kanal problemleri çok az sayıdadır. Bunun için bu çalışmada yüzeylerine ayrık ısıtıcılar yerleştirilmiş dikdörtgen kesitli bir kanalda ana akıma karşı yerleştirilen plakanın karışık konveksiyonla ısı transferine etkisi sayısal olarak incelenmiştir.

### 3. PROBLEMİN TANITILMASI

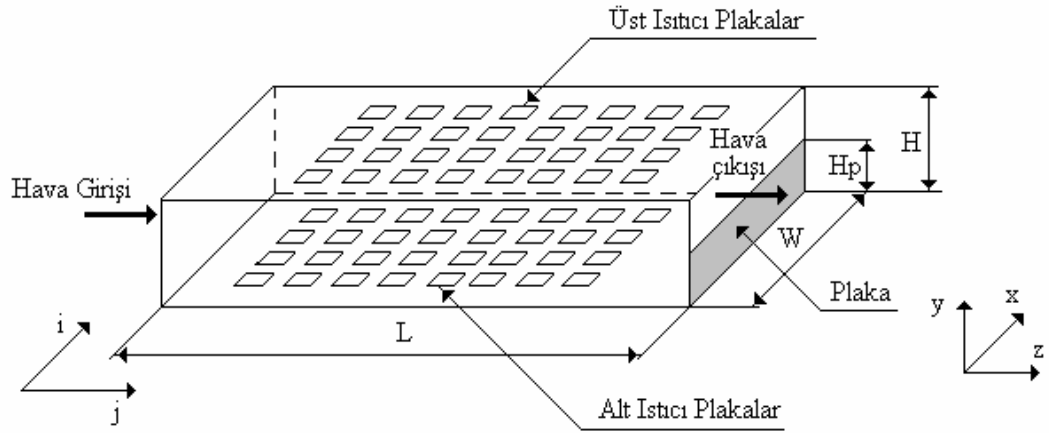
Bu bölümde problemin tanıtımı, geometrisi, problem çözülürken yapılan varsayımlar kullanılan koordinat sistemi, temel denklemler ile ilgili bilgiler verilmektedir.

#### 3.1. Kullanılan Geometri ve Koordinat Sistemi

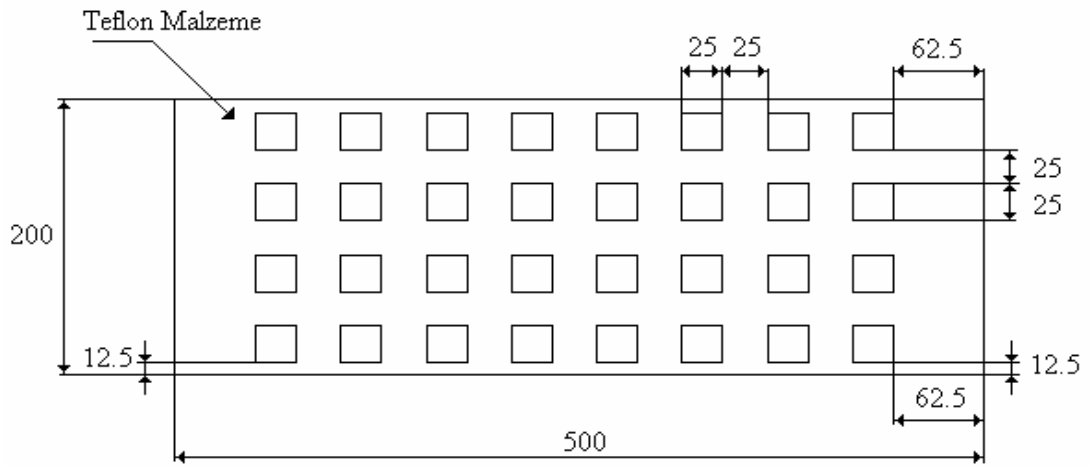
Bu çalışmada yüzeylerinde ayırık ısı kaynakları bulunan dikdörtgen kesitli bir kanalda kanal çıkışında ana akıma karşı yerleştirilen plakanın karışık konveksiyon ile ısı transferine etkisi incelenmiştir.

Geometri gereği akış 3 boyutludur. Isıtıcıların her biri kare geometrili olarak modellenmiştir. Isıtıcı elemanlar alt kısımda 32 adet, üst kısımda 32 adet olacak şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 3.1.' de koordinat sistemi ve kanal geometrisi görülmektedir.  $H$  kanal yüksekliğini,  $L$  kanal boyunu,  $W$  kanal genişliğini,  $H_p$  plaka yüksekliğini göstermektedir. Şekil 3.2.' de ise kanala yerleştirilen ısıtıcıların boyutları, ısıtıcılar arası mesafeler görülmektedir. Görüldüğü gibi bu çalışmada kanal genişliği  $W$ , kanal boyu  $L$  ve ısıtıcı boyutları sabit tutulmuştur.

Sayısal çalışmalarda problemi tanımlayan temel denklemleri çözebilmek için bazı varsayımlar yapılır. Genellikle akış şartlarının zamanla çok değişmediği problemler için ilk yapılan varsayım akışın sürekli olduğudur. Böylece zamana bağlı terimler atılır ve denklemlerde bulunan bağımsız değişken sayısı dörtten üçe indirgenmiş olur. Bu çalışmada akışın laminar ve sürekli olduğu varsayılmıştır.



Şekil 3.1. Koordinat sistemi ve kanal geometrisi



Şekil 3.2. Isıtıcıların boyutları (mm).

Kanal geometrisi Şekil 3.1' de verilen, problemi inceleyebilmek için süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin uygun sınır şartlarında çözülmesi gerekmektedir.

### 3.2. Temel Denklemler

Doğal konveksiyonla ilgili denklemlerin çözümlerinde çözümleri kolaylaştırmak için bazı yaklaşımlar kullanılır. Bunlardan biri Boussinesq yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda kütle kuvvetindeki yoğunluk değişimi hariç, diğer bütün akışkan taşınım özellikleri sabit kabul edilir.

Aşağıda bu yaklaşıma göre yazılmış denklemler verilmiştir.

Sürekli rejim şartlarında, üç boyutlu laminar, sıkıştırılamaz akış için Kartezyen koordinatlarda, süreklilik, momentum ve enerji denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.1)$$

x yönündeki momentum denklemi

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (3.2)$$

y yönündeki momentum denklemi

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + \beta g (T - T_o) \quad (3.3)$$

z yönündeki momentum denklemi

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (3.4)$$

Bu denklemlerde p basıncı,  $\nu$  kinematik viskozite ve  $\rho$  yoğunluğu temsil etmektedir.

Enerji denklemi

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (3.5)$$

Burada;  $\alpha = k / \rho c_p$  ısı yayılım katsayısıdır ve viskoz dissipasyon ihmal edilmiştir. Akışkana ait taşınım özellikleri sabit kabul edilmiştir. Bu varsayımlar, ister istemez bazı hataları da beraberinde getirir. Fakat sıcaklık değişimlerinin fazla olmaması bu hataların büyük olmasını engeller.

Yukarıda ifade edilen y yönündeki momentum denkleminde bulunan  $g\beta(T - T_0)$  ifadesi fiziksel olarak kaldırma kuvveti ( buoyancy force ) ile ilgili terim olarak tanımlanır ve akışkanın doğal konveksiyon nedeniyle ivmelenmesini gösterir.  $T_0$  giriş sıcaklığını göstermektedir.

### 3.2.1. Sınır şartları

Giriş sınır şartı

$$u_{z=0}=0, \quad v_{z=0}=0, \quad w_{z=0}=W_0, \quad T_{z=0}=T_0, \quad (3.6)$$

Çıkış sınır şartı

$$\left. \frac{\partial u}{\partial z} \right]_{z=L} = 0, \quad \left. \frac{\partial v}{\partial z} \right]_{z=L} = 0, \quad \left. \frac{\partial w}{\partial z} \right]_{z=L} = 0, \quad \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right]_{z=L} = 0 \quad (3.7)$$

Simetri düzlemi

$$u_{x=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial v}{\partial x} \right]_{x=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial w}{\partial x} \right]_{x=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right]_{x=0} = 0 \quad (3.8)$$

Yan duvar

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right]_{x=W/2} = 0 \quad (\text{adyabatik}) \quad (3.9)$$

Üst, alt ve yan duvarlarda kaymanın olmadığı varsayılarak hızlar için sınır şartları bu yüzeylerde,

$$u_{y=0} = 0 \quad , \quad u_{H=0} = 0 \quad , \quad u_{X=W/2} = 0 \quad (3.10)$$

$$v_{y=0} = 0 \quad , \quad v_{H=0} = 0 \quad , \quad v_{X=W/2} = 0 \quad (3.11)$$

$$w_{y=0} = 0 \quad , \quad w_{H=0} = 0 \quad , \quad w_{X=W/2} = 0 \quad (3.12)$$

olarak alınmıştır.

Kanal üst yüzeyi

$$-k \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right]_{y=H} = \left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ adyabatik (ısıtılmayan kısımlar için)} \\ \dot{q}''_{konv} \text{ sabit ısı akısı (ısıtılan kısımlar için)} \end{array} \right\} \quad (3.13)$$

Kanal alt yüzeyi

$$-k \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0} = \begin{cases} 0 & \text{adyabatik (ısıtılmayan kısımlar için)} \\ q''_{konv} & \text{sabit ısı akısı (ısıtılan kısımlar için)} \end{cases} \quad (3.14)$$

Plaka

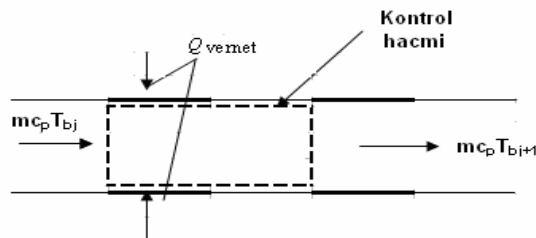
$$T=0, \quad u=0, \quad v=0, \quad w=0 \quad (3.15)$$

olarak alınmıştır.

### 3.2.2. Çeşitli parametre değerlerinin hesaplanması

Nusselt sayısının hesaplanmasında ve soğutucu akışkanın termofiziksel özelliklerinin belirlenmesinde akışkanın yığın sıcaklığı ( ortalama akışkan sıcaklığı ) önemlidir. Yığın sıcaklığı kanal içerisinde seçilen bir kontrol hacminde enerjinin korunumu prensibi uygulanarak hesaplanmıştır. Burada soğutucu akışkan havadır ve ideal gaz olarak kabul edilmiştir.

Enerjinin korunumu prensibinin sürekli şartlarda uygulanması Şekil 3.3' de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Kanal içerisinde enerjinin korunumu.

Şekil 3.3' e göre enerji dengesi yazılırsa,

$$\dot{Q}_{vernetj} + \dot{m} c_p T_{bj} = \dot{m} c_p T_{bj+1} \quad (3.16)$$

$$T_{bj+1} = \frac{\dot{Q}_{vernetj}}{\dot{m} c_p} + T_{bj} \quad (3.17)$$

elde edilir. Bu ifadede  $\dot{m}$  soğutucu akışkanın kütleli debisi,  $c_p$  özgül ısı,  $T_{bj}$  havanın ısıtıcı sırasına giriş sıcaklığı,  $T_{bj+1}$  ise havanın bir sonraki ısıtıcı sırasına giriş sıcaklığıdır.

$Q_{konvj}$  terimi kullanılarak ısı transferinin boyutsuz göstergesi olan Nu sayısı kanalın alt ve üst kısmında bulunan her bir ısıtıcı sırasına göre hesaplanmıştır.

Kanalın alt kısmına bulunan her bir ısıtıcı sırası için, sıra ortalama Nusselt sayısı ( $Nu_{altj}$ ) kanal hidrolik çapına ( $D_h$ ) göre,

$$\bar{N}u_{Dh_{altj}} = \frac{\bar{h}_{altj} D_h}{k} \quad (3.18)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Kanalın üst kısmında bulunan her bir ısıtıcı sırası için, sıra ortalama Nusselt sayısı ( $Nu_{üstj}$ ) ise,

$$\bar{N}u_{Dh_{üstj}} = \frac{\bar{h}_{üstj} D_h}{k} \quad (3.19)$$

olarak tanımlanmıştır.

Burada  $h_{altj}$  ve  $h_{üstj}$  sırasıyla her bir ısıtıcı sırasındaki ortalama ısıtıcı yüzey ısı transfer katsayısıdır. Newton'un, soğuma kanunundan çekilip Eşitlik. 3.3  $h_{altj}$  yerine konulursa, alt yüzeyde bulunan ısıtıcı sırası için Nusselt sayısı,

$$\bar{Nu}_{Dh_{altj}} = \frac{\dot{Q}_{konv_{altj}} D_h}{A_{h_{altj}} \left( T_{s_{altj}}^- - T_{bj} \right) k} \quad (3.20)$$

olarak bulunur. Burada  $A_{h_{altj}}$  altta bulunan bir ısıtıcı sırasındaki toplam ısıtıcı plaka alanı,  $T_{s_{altj}}$  alt kısımda bulunan bir ısıtıcı sırasındaki ısıtıcıların ortalama yüzey sıcaklıkları,  $T_{bj}$  ise her bir ısıtıcı sırası girişindeki yığın sıcaklığı olup, Eşitlik. 3.2'den hesaplanmıştır.

Üst yüzeyde bulunan bir ısıtıcı sırası için Nusselt sayısı ise benzer şekilde,

$$\bar{Nu}_{Dh_{üstj}} = \frac{\dot{Q}_{konv_{üstj}} D_h}{A_{h_{üstj}} \left( T_{s_{üstj}}^- - T_{bj} \right) k} \quad (3.21)$$

olarak bulunur. Burada  $A_{h_{üstj}}$  üstte bulunan bir ısıtıcı sırasındaki toplam ısıtıcı plaka alanıdır. Burada Nusselt sayısının, konvektif ısı miktarına, akışkan özelliklerine (k), ısıtıcıların yüzey sıcaklıklarına ve akışkan yığın sıcaklığına bağlı olduğu açıkça görülmektedir.

Yukarıdaki denklemlerde karakteristik uzunluk kanal hidrolik çapıdır ( $D_h$ ), ve şu şekilde hesaplanır,

$$D_h = \frac{4A_k}{P_\zeta} \quad (3.22)$$

Burada  $A_k$  kanalın kesit alanı,  $P_\zeta$  ise kanalın çevre uzunluğudur.

Soğutucu akışkanın termofiziksel özellikleri de Nusselt sayısının hesaplanmasında önemlidir. Bu çalışmada soğutucu akışkan olarak kullanılan havanın yığın sıcaklığına bağlı olarak ısı iletim katsayısı aşağıda verilmiştir.

$$k_{hava} = 2,5 \times 10^{-3} \frac{(T_{bj} + 273,15)^{1,5}}{T_{bj} + 467,59} \quad (W / m^\circ C) \quad (3.23)$$

Nusselt sayısına ilave olarak bu çalışmada kullanılan boyutsuz sayılar kanal hidrolik çapına ( $D_h$ ) göre aşağıda ki gibi tanımlanmıştır.

Reynolds sayısı;

$$Re_{D_h} = \frac{W_a D_h}{\nu} \quad (3.24)$$

Grashof sayısı; ısıtıcı plaka ve akışkan yığın sıcaklığına bağlı olarak,

$$Gr_{D_h} = \frac{g\beta(T_s - T_b)D_h^3}{\nu^2} \quad (3.25)$$

Düzeltilmiş Grashof sayısı: soğutucu akışkana verilen konveksiyon ısı akısına bağlı olarak;

$$Gr_{D_h}^* = \frac{g\beta q''_{konv} D_h^4}{k\nu^2} \quad (3.26)$$

şeklinde yazılabilir.

### 3.2.3. Boyut analizi

Problemi tanımlayan temel denklemlerin boyutsuz hale getirilmesinin iki faydası vardır. Bunlardan birincisi, parametrik çalışma sonuçlarının, birçok boyutlu değer yerine, birkaç boyutsuz karakteristik parametre değerine göre incelenerek, sonuçların diğer çalışmalarla karşılaştırılması imkanını sağlamasıdır. İkincisi ise kullanılan değişkenlerin değerlerinin normalize edilmesine yardımcı olmasıdır.

Boyutsuzlaştırma işleminde karşılaşılan temel güçlük uygun karakteristik büyüklüklerin seçilmesidir. Böylece, boyutsuz değişkenler kabaca aynı mertebeye getirilmiş olur. Grashof sayısındaki sıcaklık farkı yerine  $\dot{q}_{konv} D_h/k$  ifadesi kullanılırsa, Grashof sayısı, düzeltilmiş Grashof sayısı olarak tanımlanır. Geçerli boyutsuzlaştırma parametreleri birçok değişkenler için mevcuttur. Mesela x, y ve z, kanal geometrisinin karakteristik uzunluğu ile boyutsuzlaştırılabilir. Bu karakteristik uzunluk kanal yüksekliği veya hidrolik çap olarak alınabilir. Kanal yüksekliği daha çok paralel levhalar durumunda kullanılan bir karakteristik uzunluk ölçüsüdür. Hidrolik çap ise W/H etkilerini içeren bir büyüklük olup, bu çalışmada karakteristik uzunluk olarak tercih edilmiştir.

Buna göre:

$$X^* = \frac{x}{D_h} , \quad Y^* = \frac{y}{D_h} , \quad Z^* = \frac{z}{D_h} \quad (3.27)$$

$$U^* = \frac{u}{w_0} , \quad V^* = \frac{v}{w_0} , \quad W^* = \frac{w}{w_0} , \quad (3.28)$$

$$T^* = \frac{T - T_0}{\dot{q}_{konv} (D_h / k)} , \quad p^* = \frac{p - p_0}{\rho w_0^2} \quad (3.29)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $T_o$  giriş sıcaklığı,  $P_o$  giriş basıncı,  $D_h$  hidrolik çap ve  $W_o$  ise  $z$  yönündeki üniform giriş hızıdır. Boyutsuz hale getirilmiş denklemler ise;

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial U^*}{\partial X^*} + \frac{\partial V^*}{\partial Y^*} + \frac{\partial W^*}{\partial Z^*} = 0 \quad (3.30)$$

X yönündeki momentum denklemi

$$U^* \frac{\partial U^*}{\partial X^*} + V^* \frac{\partial V^*}{\partial Y^*} + W^* \frac{\partial W^*}{\partial Z^*} = -\frac{\partial P^*}{\partial X^*} + \frac{1}{\text{Re}} \left( \frac{\partial^2 U^*}{\partial X^{*2}} + \frac{\partial^2 U^*}{\partial Y^{*2}} + \frac{\partial^2 U^*}{\partial Z^{*2}} \right) \quad (3.31)$$

Y yönündeki momentum denklemi

$$U^* \frac{\partial V^*}{\partial X^*} + V^* \frac{\partial V^*}{\partial Y^*} + W^* \frac{\partial V^*}{\partial Z^*} = -\frac{\partial P^*}{\partial Y^*} + \frac{1}{\text{Re}} \left( \frac{\partial^2 V^*}{\partial X^{*2}} + \frac{\partial^2 V^*}{\partial Y^{*2}} + \frac{\partial^2 V^*}{\partial Z^{*2}} \right) + \frac{\text{Gr}^*}{\text{Re}^2} T^* \quad (3.32)$$

Z yönündeki momentum denklemi

$$U^* \frac{\partial W^*}{\partial X^*} + V^* \frac{\partial W^*}{\partial Y^*} + W^* \frac{\partial W^*}{\partial Z^*} = -\frac{\partial P^*}{\partial Z^*} + \frac{1}{\text{Re}} \left( \frac{\partial^2 W^*}{\partial X^{*2}} + \frac{\partial^2 W^*}{\partial Y^{*2}} + \frac{\partial^2 W^*}{\partial Z^{*2}} \right) \quad (3.33)$$

Enerji denklemi

$$U^* \frac{\partial T^*}{\partial X^*} + V^* \frac{\partial T^*}{\partial Y^*} + W^* \frac{\partial T^*}{\partial Z^*} = \frac{1}{\text{Re Pr}} \left( \frac{\partial^2 T^*}{\partial X^{*2}} + \frac{\partial^2 T^*}{\partial Y^{*2}} + \frac{\partial^2 T^*}{\partial Z^{*2}} \right) \quad (3.34)$$

şeklinindedir. Yukarıdaki denklemlerde de görüldüğü gibi probleme etkiyen boyutsuz parametreler  $\text{Re}$ ,  $\text{Gr}^*/\text{Re}^2$  ve  $\text{Gr}^* = \text{Re Pr}$ ' dir. Dolayısı ile problemin incelenmesinde

bu parametreler dikkate alınmıştır. Aşağıdaki denklemlerde ilgili sınır şartları boyutsuz olarak verilmiştir.

Giriş sınır şartı

$$U_{Z^*=0}^* = 0 \quad , \quad V_{Z^*=0}^* = 0 \quad , \quad W_{Z^*=0}^* = W_o \quad , \quad T_{Z^*=0}^* = 0 \quad , \quad P_{Z^*=0}^* = 0 \quad (3.35)$$

Çıkış sınır şartı

$$\left. \frac{\partial U^*}{\partial z^*} \right]_{z^*=L} = 0 \quad , \quad \left. \frac{\partial V^*}{\partial z^*} \right]_{z^*=L} = 0 \quad , \quad \left. \frac{\partial W^*}{\partial z^*} \right]_{z^*=L} = 0 \quad , \quad \left. \frac{\partial T^*}{\partial z^*} \right]_{z^*=L} = 0 \quad (3.36)$$

Simetri düzlemi

$$U_{X^*=0}^* = 0 \quad , \quad \left. \frac{\partial V^*}{\partial X^*} \right]_{X^*=0} = 0 \quad , \quad \left. \frac{\partial W^*}{\partial X^*} \right]_{X^*=0} = 0 \quad , \quad \left. \frac{\partial T^*}{\partial X^*} \right]_{X^*=0} = 0 \quad (3.37)$$

Yan duvar

$$\left. \frac{\partial T^*}{\partial X^*} \right]_{X^*=W^*/2Dh} = 0 \quad (\text{adyabatik}) \quad (3.38)$$

Üst, alt ve yan duvarlar için boyutsuz sınır şartları

$$U_{Y^*=0}^* = 0 \quad , \quad U_{Y^*=H/Dh}^* = 0 \quad , \quad U_{X^*=W/2Dh}^* = 0 \quad (3.39)$$

$$V_{Y^*=0}^* = 0 \quad , \quad V_{Y^*=H/Dh}^* = 0 \quad , \quad V_{X^*=W/2Dh}^* = 0 \quad (3.40)$$

$$W_{Y^*=0}^* = 0 \quad , \quad W_{Y^*=H/Dh}^* = 0 \quad , \quad W_{X^*=W/2Dh}^* = 0 \quad (3.41)$$

Kanal üst yüzeyi

$$\left. \frac{\partial T^*}{\partial Y^*} \right]_{Y^*=\frac{H}{Dh}} = \begin{cases} 0 & \text{adyabatik (ısıtılmayan kısımlar için)} \\ -1 & \text{sabit ısıtıcısı (ısıtılan kısımlar için)} \end{cases} \quad (3.42)$$

Kanal alt yüzeyi

$$\left. \frac{\partial T^*}{\partial Y^*} \right]_{Y^*=0} = \begin{cases} 0 & \text{adyabatik (ısıtılmayan kısımlar için)} \\ -1 & \text{sabit ısıtıcısı (ısıtılan kısımlar için)} \end{cases} \quad (3.43)$$

Engel

$$T^*=0, \quad U^*=0, \quad V^*=0, \quad W^*=0 \quad (3.44)$$

olarak alınmıştır.

### 3.3. Sayısal Çözüm Yöntemi

Isı ve kütle transferi, akışkanlar mekaniği, kimyasal reaksiyonlar gibi uygulamalarda sayısal akışkanlar dinamiğinin önemi büyüktür. Sayısal Akışkanlar Dinamiği'nde kullanılan paket programlardan biri de fluent paket programıdır. Yapılan çalışmada bu program kullanılmıştır. fluent ile korunum denklemleri, verilen sınır şartları altında boyutlu formda çözülmüştür. Program hakkında detaylı bilgi aşağıda verilmiştir.

Çalışmada problemimizin çözümü için Sayısal Akışkanlar Dinamiği (SAD) yöntemiyle çözüm yapan fluent programı kullanılacaktır. Fluent ısı transferi, kütle transferi, akışkanlar mekaniği, kimyasal karışım ve yanma gibi olayların simülasyonunu yapabilen bir paket programdır. Fluent sonlu hacimler yöntemini kullanmaktadır. Matematiksel denklemleri nümerik bir proses'e dönüştürerek, yani matematik modelde tanımlanan kısmi diferansiyel denklemleri diskritize ederek

lineer cebirsel denklemlere dönüştürür. Problemin çözümü için önce problemin geometrisi gambit programında oluşturulup, oluşturulan geometri istenilen sayıda hücrelere (grid) ayrılacak ve Fluent ile sayısal olarak çözüme hazır hale getirilecektir. Gambit ile oluşturulan problemin tanımı Fluent' e okutularak konveksiyona etkisi incelenecektir.

Fluent programı; gambit, Xserver, Tgrid, Fluent vb. modüllerden oluşmaktadır. Fluent tedarik edilirken modüllerin tedarik edilmesi seçeneklidir. Bütçeye ihtiyaca ve isteğe bağlı olarak modüller tedarik edilir. Fakat en basit konfigürasyonda fluent, xserver( hummingbird connectivity) ve gambit modüllerinin tedarik edilmesi gerekmektedir.

### **3.3.1. Gambit Modülü**

Katı modülün oluşturulacağı, bu katı modele mesh atan ve sınır şartlarını fluent'te detaylandırmadan önce bu sınırları tanımlanacağı yüzeylerin belirleneceği modüldür. Gambitte uzantısı dbf olan bir katı model dosyası oluşturulur, daha sonra bu dbf uzantılı dosyadan msh uzantılı bir dosya export edilerek oluşturulur. Msh uzantılı dosya fluent modülünün okuyacağı formattaki dosyadır. Gambit programının kullanılmasıyla ilgili bir örnek Ek.1' de verilmiştir.

### **3.3.2. Xserver ( Hummingbird Connectivity) Modülü**

Gambit' in Windows ortamında çalışmasını sağlayan arayüz modülüdür. Bu modül olmadan gambit Windows ortamında çalışmaz.

### **3.3.3. Tgrid Modülü**

Katı modele mesh atılabilen ve mesh yapısının tadil edildiği programdır. Mesh yapısı tadil edilerek daha kolay ve hassas sonuç elde edilebilecek meshler oluşturularak problemler çözülür.

### **3.3.4. Fluent Modülü**

Gambitte oluşturulan msh uzantılı dosyayı okuyan bu dosyaya sınır şartlarının ayrıntılarının girilmesi, madde özelliklerinin girilmesi, çözüme ilişkin ayrıntıların girilmesi ile msh uzantılı dosyanın cas uzantılı dosyasının elde edildiği ve bu cas uzantılı dosya kullanılarak sayısal çözümün elde edildiği modüldür. Çözüm dat uzantılı dosya kullanılarak sayısal çözümün elde edildiği modüldür. Çözüm dat uzantılı dosya ile saklanır. Bu çalışmada kullanılan verilerin, fluent programına girilmesi ile ilgili bir örnek Ek.1' de verilmiştir.

#### 4. SAYISAL SONUÇLAR

Sayısal akışkanlar dinamiği metodlarını kullanarak birçok probleme çözüm elde etmek mümkündür. Çok kısa sürede, belirli problemlerin çözümlerine ulaşılabilir. Fakat çözümlerin ve sonuçların gerçek fiziksel olay ve fizik kanunlarına uygun olması gerekmektedir. birçok çözüm bundan dolayı bir işe yaramaz ve problem defalarca yeniden programlanarak ve tanımlanarak, kullanılan sayısal akışkanlar dinamiği kodunun içerdiği çözüm teknikleri ve değişkenleri tekrar tekrar gözden geçirilerek, problemin gerçek çözümlerinin elde edilmesi sağlanır. Fluent' te elde edilen sonuçların geçerliliğinin kontrolü için beş ana kriter vardır ve bunlar aşağıda verilmiştir.

1- Çözümün yakınsaklığı sağlandı mı?

Report kütüğünde son kısımda iterasyon sayısına bağlı olarak kalıntılar sayısal olarak verilir. Çözümün yakınsaması için bütün değişkenlerin kalıntıları monoton veya değişken bir azalma göstermek zorundadır. Yakınsamanın kontrolü yapıldıktan sonra her değişken için toplam kalıntı değerlerine bakmak gerekir. Bu değerlerin de mümkün olduğunca sıfıra yakın yakın çok küçük değerler olması istenir.

2- Çözüm iterasyon sayısından bağımsız mı?

Çözüm iterasyon sayısı ile yakından ilgilidir. Problemin basit ve karmaşık olmasına göre iterasyon sayısı değişir. Bundan dolayı iterasyon sayısı değiştirilerek 1. sorunun cevabı aranır. Yani iterasyon sayısı ile yakınsamanın nasıl değiştiği sürekli olarak gözlenir. Burada amaç iterasyon sayısının artmasıyla yakınsamış bir problemin yakınsamasının devam ettiğini gözlemektir. Bununla birlikte sadece kalıntılara bakmak yeterli değildir. Elde edilen çözüm değerlerinin değişimine de bakmak gerekir.

3- Korunum denklemleri sağlandı mı?

İlk iki sorunun olumlu cevaplandırılmasından sonra çözümünü elde etmeye çalıştığımız fiziksel problemi tanımlayan kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Bu değerleri kontrol etmek için

yine flux report kütüğünün sonunda korunum denklemlerinin ne ölçüde sağlandığını gösteren değerler vardır. Bu değerlerin kontrol edilmesi gerekmektedir.

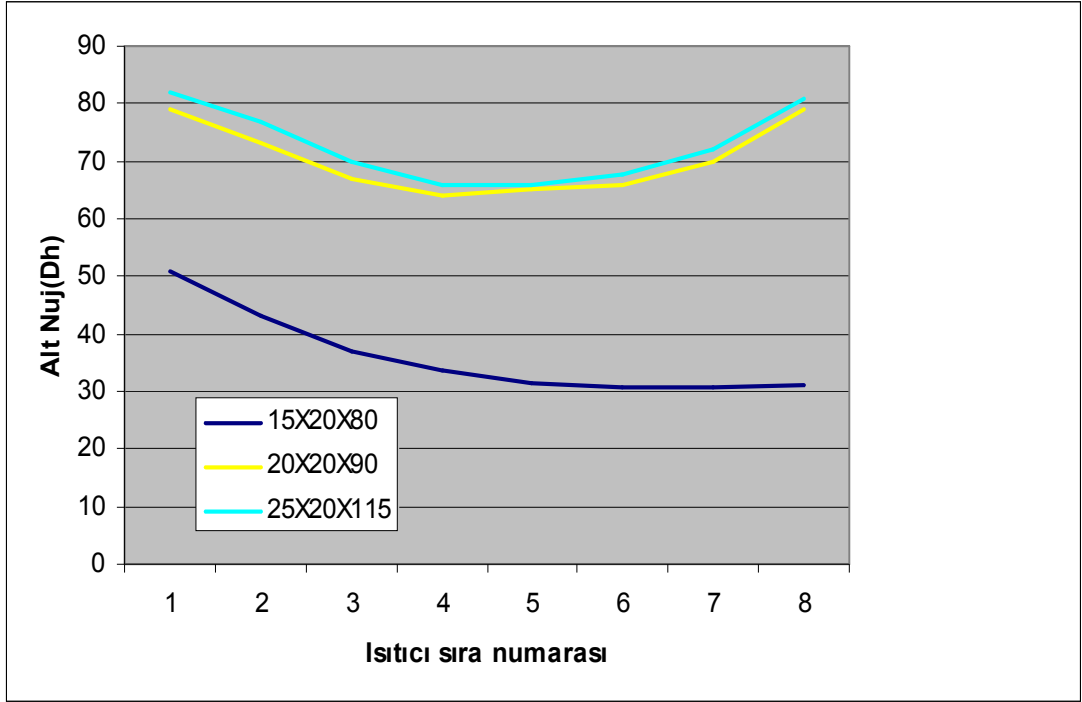
4- Çözüm hücre yapısından bağımsız mı?

İlk üç sorunun olumlu cevaplanmasına rağmen elde edilen sonuçlar gerçek değerlerden uzak olabilir. Buna sebep olan nedenlerden biri de çözüm alanı içerisindeki hücre sayısı ve dağılımıdır. Uygun hücre sayısının belirlenememesi, farklı sonuçlar doğurabilir. Ayrıca, problemin fiziğine bağlı olarak, hücre dağılımı da çok önemlidir. Akışın yapısına göre giriş veya çıkış bölgesinde ya da herhangi bir bölgede akışın değişimi farklı olabilir. Ve hücre dağılımı homojen olmayabilir. Hücre yapısından bağımsız bir çözüm elde etmek sonuçların doğruluğu açısından şarttır. Hücre yapısında ve dağılımında yapılan değişikliklerle, elde edilen sonuçlardaki değişim minimuma indirgenmelidir. ve optimum hücre sayısı belirlenmelidir. Böylece hesaplama zamanından önemli ölçüde kazanç sağlanmış olur.

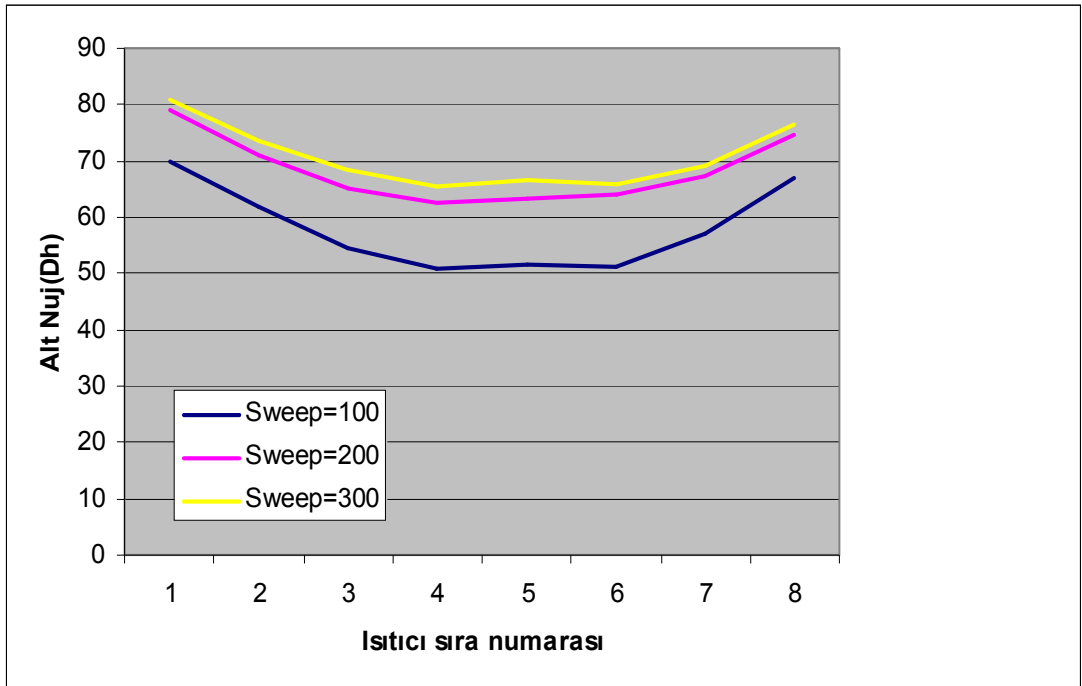
5- Sonuçlar deneysel sonuçlarla uyumlu mu?

Sayısal akışkanlar dinamiği çözüm ve sonuçlarının gerçek fiziksel değerlerle doğruluğu ve uyumluluğu ilk dört sorunun olumlu olarak cevaplandırılmasından sonra, literatürde mevcut değerlerle karşılaştırılmak suretiyle ispatlanmış olur.

Güvenilirlik kriterlerinden ilk üçü fluent paket programının flux report menüsünden görülmektedir. Kabul edilebilirlik için dördüncü kriter çözümün hücre yapısından bağımsız olmasıdır. Bununla ilgili yapılan çalışma Şekil 4.1' de verilmiştir. Şekiller dikkatlice incelendiğinde 15\*20\*80 hücre yapısı için sonuçlar oldukça farklıdır. Özellikle ikincil akış nedeniyle olan Nusselt sayısındaki artış hemen hemen yoktur. Diğer hücre sayılarına göre, Nusselt sayısı ısıtıcı sırası boyunca daha düşüktür. Hücre sayısı arttıkça, gerçek çözüme yaklaşılmaktadır. 20\*20\*90 ile 25\*20\*115 hücre sayılarında çözüm oldukça birbirine yakındır. Bu çalışmada 25\*20\*115 hücre sayısı dikkate alınarak çözüm gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1.  $W/H=10$ ,  $Re_{Dh}=937$  ve  $Gr_{Dh}^*=6,4 \times 10^6$  için hücre yapısının alt ısıtıcı sıra ortalama Nusselt sayısına etkisi



Şekil 4.2.  $W/H=10$ ,  $Re_{Dh}=937$  ve  $Gr_{Dh}^*=6,4 \times 10^6$  için süpürme sayısının alt ısıtıcı sıra ortalama Nusselt sayısına etkisi

Şekil 4.2' de ise süpürme sayısının ısıtıcı sıra ortalama Nusselt sayısına etkisi görülmektedir. Süpürme sayısı 100 için çözümün henüz yakınsamadığı görülmektedir. 200-300 süpürme sayısında çözümün yakınsadığını söylemek mümkündür.

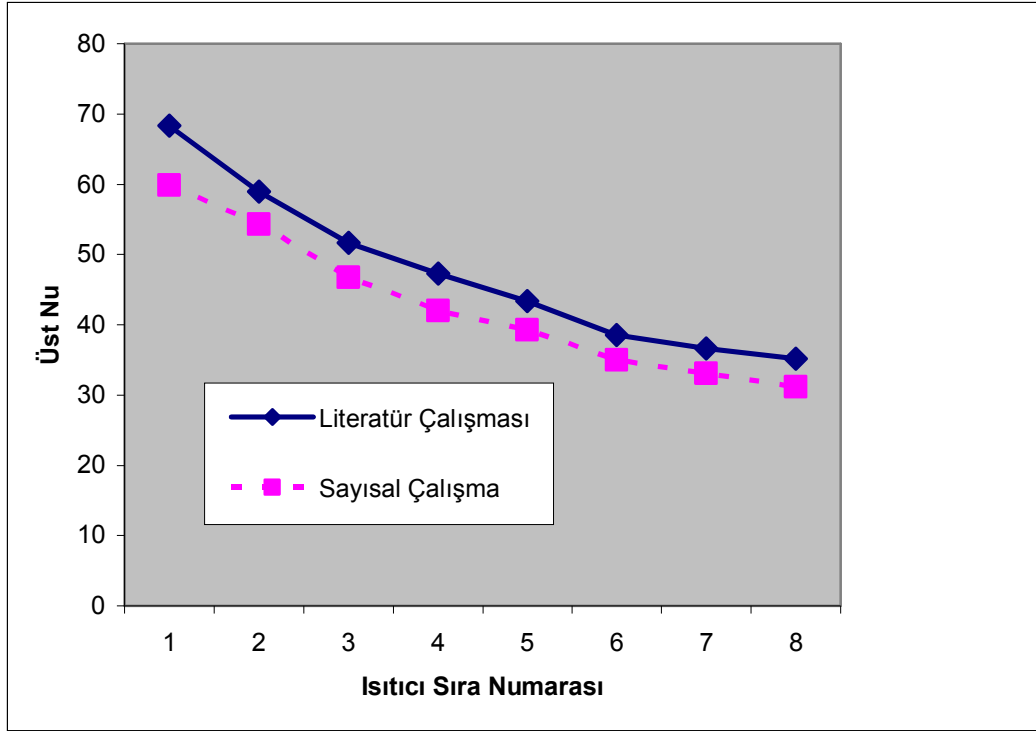
Yapılan çalışmalarda en fazla 300-400 süpürme çözüm için yeterli olmaktadır. Relaxasyon sayıları, hızlar için 0,1 ile 0,001 arasında, entalpi ve basınç için ise 0,1 ile 0,05 arasında değişmektedir. Şekil 4.2' de  $W/H=10$  için süpürme sayısı verilmiştir.

#### **4.1 Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırma**

Bu çalışmada literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırma olanağı verebilecek şekilde şekil ( $W/H$ ) oranı,  $Gr$  ve  $Re$  sayısı gibi boyutsuz parametreler seçilmiş ve elde edilen sayısal çözümler literatürdeki bazı deneysel çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Şekil oranı ( $W/H$ )=10,  $Re$  sayısı=937,  $Gr^*=6,4 \times 10^6$  ve  $Gr^*=2,8 \times 10^6$ , alt ve üst yüzeyde bulunan ısıtıcılara uygulanan ısı akısı  $701 \text{ W/m}^2$  alınarak sabit akışkan özellikleri için çözümler elde edilmiş ve bu çözümler aynı boyutsuz parametreler kullanılarak elde edilen çözümlerle karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.3' de  $Gr$  sayısının  $6,4E+6$  değeri için üst nusselt sayısının ısıtıcı sıra numarasıyla değişimi görülmektedir. Aynı şartlar için verilen bu grafikte sonuçların uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Üst Nusselt sayısı deneysel ve sayısal sonuçlarda kanal boyunca azalarak gitmiştir.

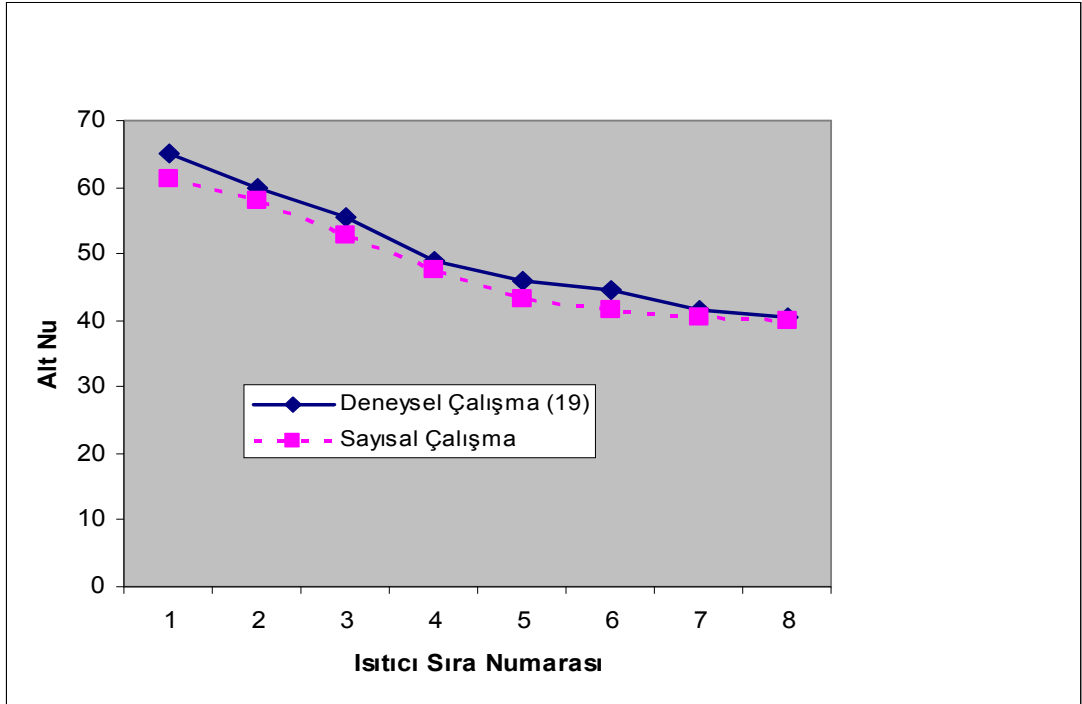


Şekil 4.3.  $W/H=10$  ve  $Re_{Dh}=937$ ' de  $Gr^*=6,4 \times 10^6$  sıra ortalama Üst Nusselt sayılarının karşılaştırılması

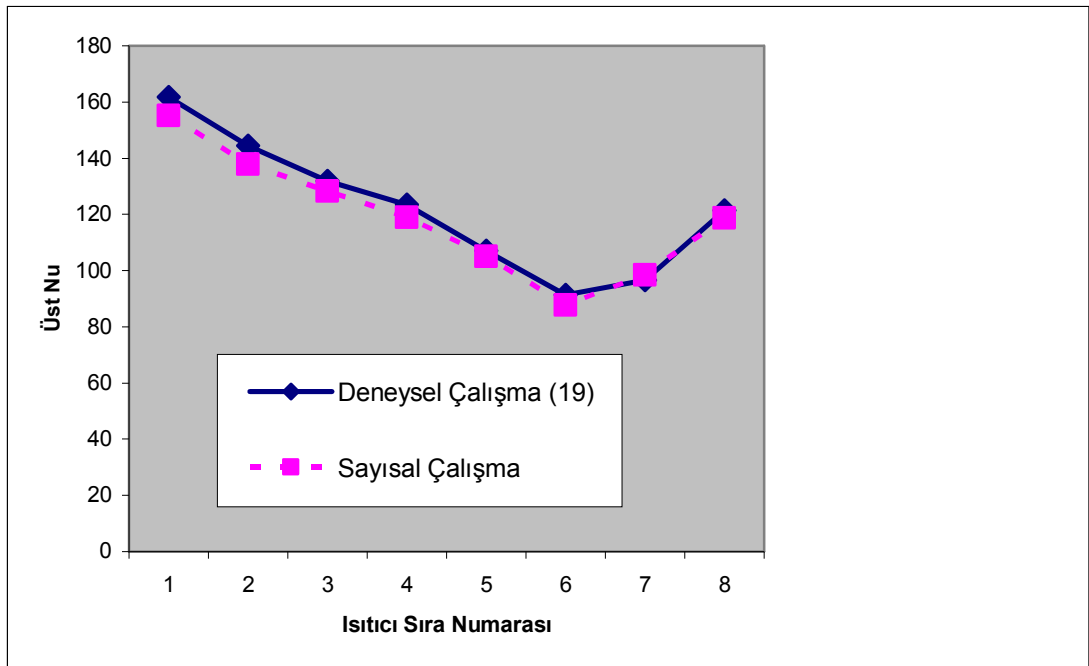
Şekil 4.4' te ise alt ısıtıcı sırası için çizilmiş bu grafikte, 5. ve 6. ısıtıcı sıraları hariç diğer ısıtıcı sıraları için sonuçların uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Alt kısımda bulunan ısıtıcıların zorlanmış konveksiyonun daha baskın olduğunu söylemek mümkündür. İlk ısıtıcı sırasında Nusselt sayısı maksimum değerini alırken kanal boyunca bir azalma göstermiştir.

Şekil 4.5' de  $Gr$  sayısının  $2,8E+6$  değeri için üst nusselt sayısının ısıtıcı sıra numarasıyla değişimi görülmektedir. Aynı şartlar için verilen bu grafikte sonuçların uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Üst Nusselt sayısı deneysel ve sayısal sonuçlarda ilk altı ısıtıcı sırasında azalarak gitmiştir. İkincil akışın etkisiyle 7 ve 8. sırada Nusselt sayıları artmıştır.

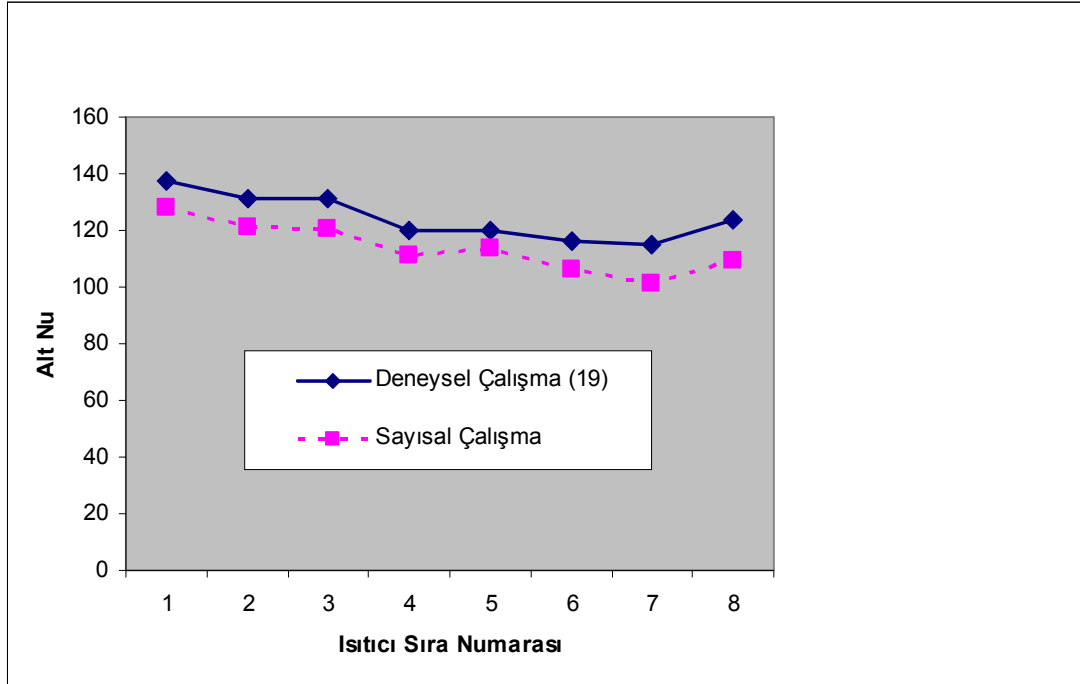
Şekil 4.6' da ise alt Nusselt sayıları için verilen grafikte sayısal ile deneysel çalışmalarda sonuçların uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4.  $W/H=10$ ,  $Re_{Dh}=937$  ve  $Gr^*=6,4 \times 10^6$  için sıra ortalama Alt Nusselt sayılarının karşılaştırılması



Şekil 4.5.  $W/H=10$ ,  $Re_{Dh}=937$  ve  $Gr^*=2,8 \times 10^6$  için sıra ortalama Üst Nusselt sayılarının karşılaştırılması



Şekil 4.6.  $W/H=10$ ,  $Re_{Dh}=937$  ve  $Gr^*=2,8 \times 10^6$  için sıra ortalama Alt Nusselt sayılarının karşılaştırılması

Literatürdeki deneysel çalışma sonuçları ile sayısal sonuçların karşılaştırılmasından, yukarıdaki şekillerden de görüleceği gibi tam bir uyum gözükmemektedir. Bu nedenle kullanılan sayısal yöntemin, bu çalışmada ele alınan problemin çözümünde iyi bir doğrulukla kullanılabileceğini söyleyebiliriz. Bundan sonraki bölümlerde, sayısal çözüm yöntemi, çeşitli parametre değerlerinde, engelli ve engelsiz plaka durumlarında probleme uygulanmış ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

#### 4.2. Sayısal Yöntemle Yapılan Çalışmada Ele Alınan Şartlar

Fluent paket programı kullanılarak yapılan sayısal çalışmada farklı  $W/H$  larda ele alınan değişik Reynolds ve Grashof sayıları Çizelge 4.1 de verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi ele alınan parametre aralıkları  $W/H=2, 6$  ve  $10$ ,  $Re_{Dh}=75, 150, 550, 1750, 2300$  ve  $Gr^*_{Dh}=1E+6, 1E+7, 1E+8$  ve  $1E+9$  olarak seçilmiştir. Çizelgede verilen durumlarda sayısal çözümler elde edilerek, elde edilen sonuçlarla, bunların tartışılması gelecek kısımda sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Sayısal çalışma programı

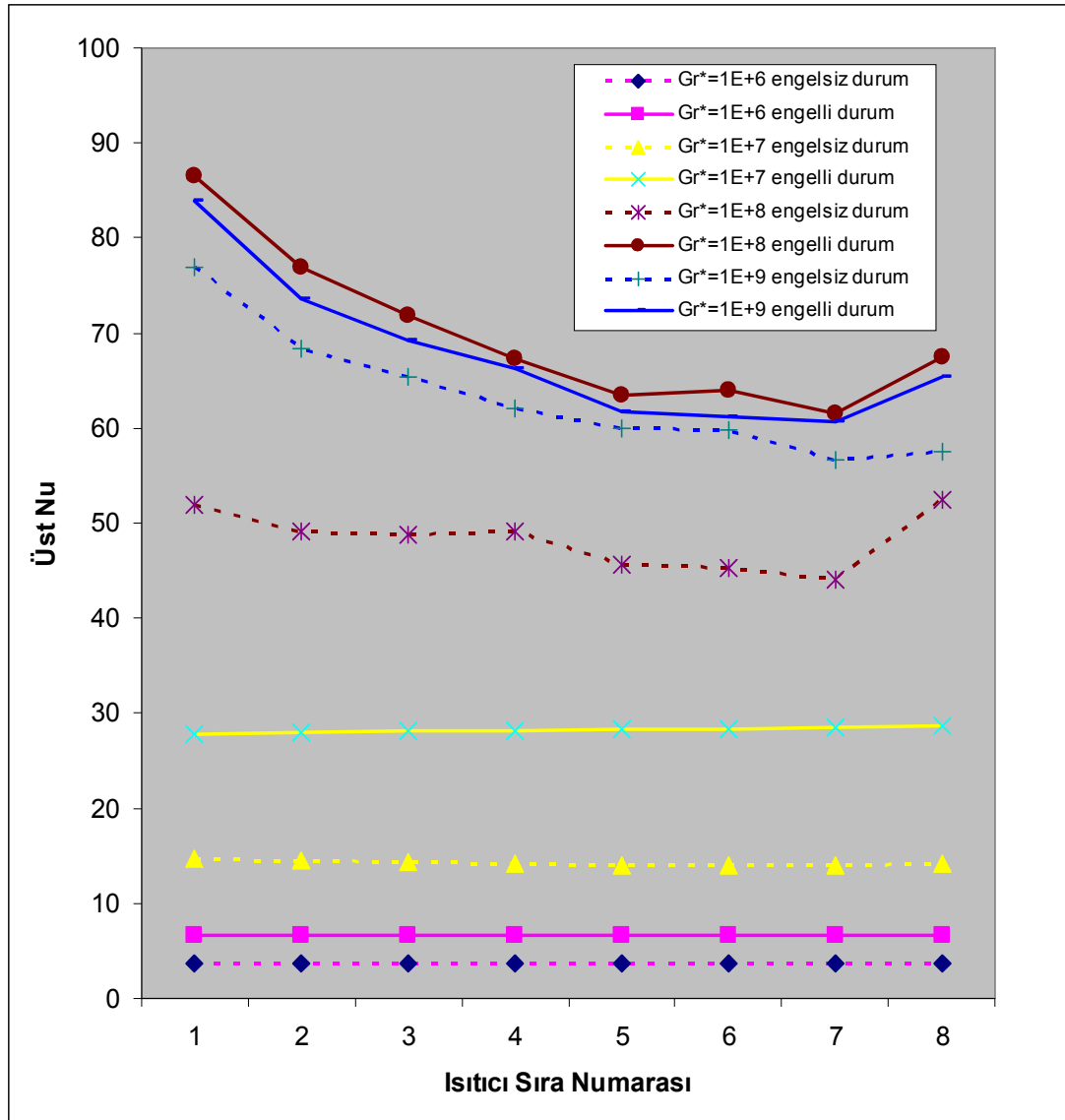
W/H	Re <sub>Dh</sub>	Gr <sub>Dh</sub> <sup>*</sup>	W/H	Re <sub>Dh</sub>	Gr <sub>Dh</sub> <sup>*</sup>	W/H	Re <sub>Dh</sub>	Gr <sub>Dh</sub> <sup>*</sup>
2	75	1,00E+06	6	75	1,00E+06	10	75	1,00E+06
2	75	1,00E+07	6	75	1,00E+07	10	75	1,00E+07
2	75	1,00E+08	6	75	1,00E+08	10	75	1,00E+08
2	75	1,00E+09	6	75	1,00E+09	10	75	1,00E+09
2	150	1,00E+06	6	150	1,00E+06	10	150	1,00E+06
2	150	1,00E+07	6	150	1,00E+07	10	150	1,00E+07
2	150	1,00E+08	6	150	1,00E+08	10	150	1,00E+08
2	150	1,00E+09	6	150	1,00E+09	10	150	1,00E+09
2	550	1,00E+06	6	550	1,00E+06	10	550	1,00E+06
2	550	1,00E+07	6	550	1,00E+07	10	550	1,00E+07
2	550	1,00E+08	6	550	1,00E+08	10	550	1,00E+08
2	550	1,00E+09	6	550	1,00E+09	10	550	1,00E+09
2	1750	1,00E+06	6	1750	1,00E+06	10	1750	1,00E+06
2	1750	1,00E+07	6	1750	1,00E+07	10	1750	1,00E+07
2	1750	1,00E+08	6	1750	1,00E+08	10	1750	1,00E+08
2	1750	1,00E+09	6	1750	1,00E+09	10	1750	1,00E+09
2	2300	1,00E+06	6	2300	1,00E+06	10	2300	1,00E+06
2	2300	1,00E+07	6	2300	1,00E+07	10	2300	1,00E+07
2	2300	1,00E+08	6	2300	1,00E+08	10	2300	1,00E+08
2	2300	1,00E+09	6	2300	1,00E+09	10	2300	1,00E+09

### **4.3. Engelli ve Engelsiz Durumda Çeşitli Parametrelerin Isı Transferine Etkilerinin Analizi**

Sayısal yöntem ile yapılan çalışma sonuçlarının kabul edilebilirlik kriterlerini sağladıktan sonra çalışma programı kapsamında paket program (Fluent) çalıştırılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Hem Nusselt sayısı dağılımları, hem de hız vektör dağılımları ile sıcaklık kontur grafikleri çizilmiştir.

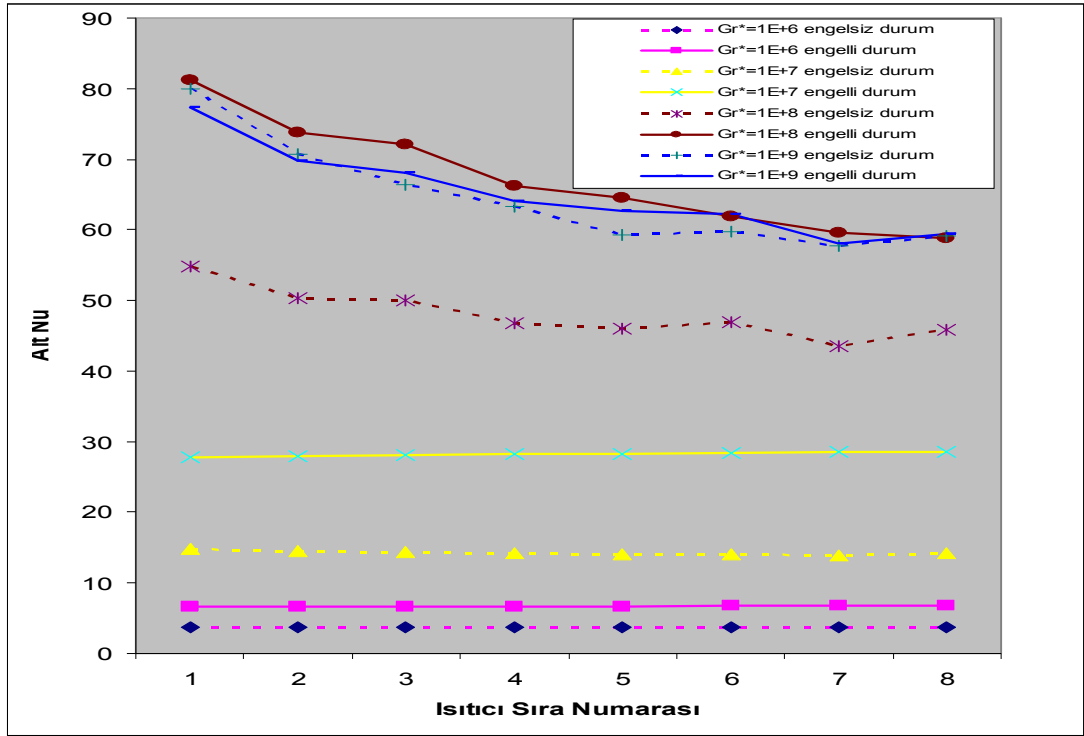
Şekil 4.7' de  $W/H=2$ , Reynolds sayısının 2300 ve Grashof sayısının  $1 \times 10^6$ ,  $1 \times 10^7$ ,  $1 \times 10^8$  ve  $1 \times 10^9$  değerleri için kanal çıkışına yerleştirilen plaka ile engelsiz duruma göre değişimi verilmiştir. Üst nusselt sayısı en yüksek değerini  $1 \times 10^8$  değerinde aldığı görülmektedir.

Şekil 4.8' de  $W/H=2$ , Reynolds sayısının 2300 ve Grashof sayısının  $1 \times 10^6$ ,  $1 \times 10^7$ ,  $1 \times 10^8$  ve  $1 \times 10^9$  değerleri için kanal çıkışına yerleştirilen plaka ile engelsiz duruma göre alt Nu sayılarının değişimi verilmektedir. Düşük Grashof sayılarında ısıtıcı sırası boyunca değişim olmamaktadır. Yüksek Grashof sayılarında ısıtıcı sırası boyunca Nusselt sayısı azalarak devam etmektedir.

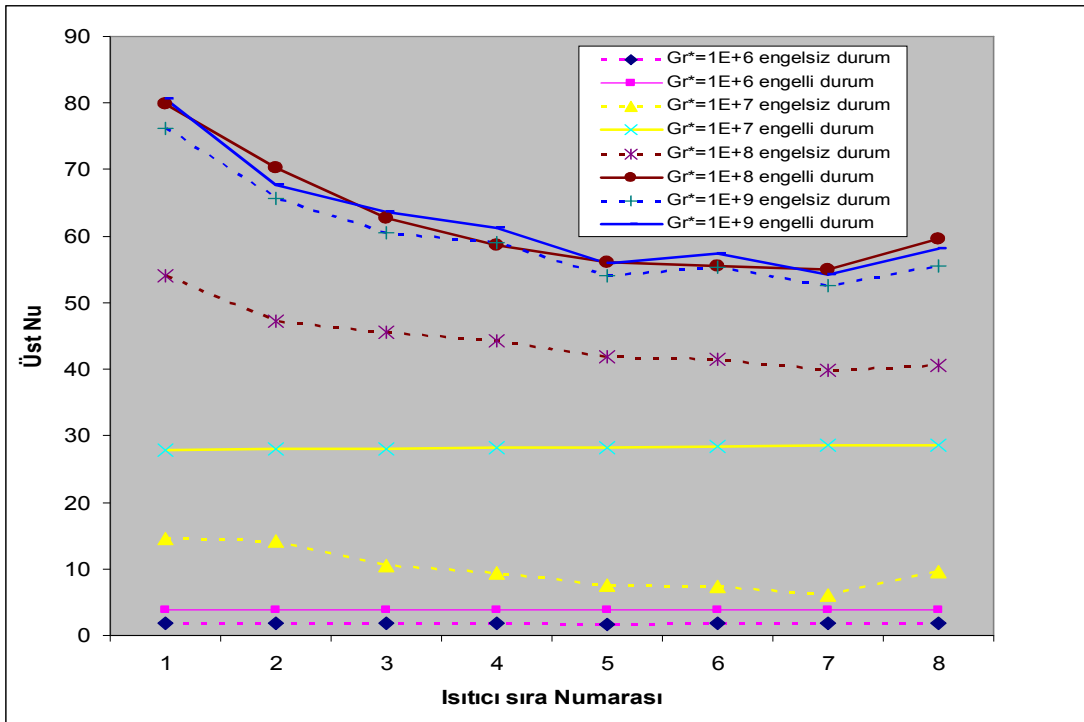


Şekil 4.7.  $W/H=2$ ,  $Re_{Dh}=2300$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Üst Nusselt sayısına etkisi

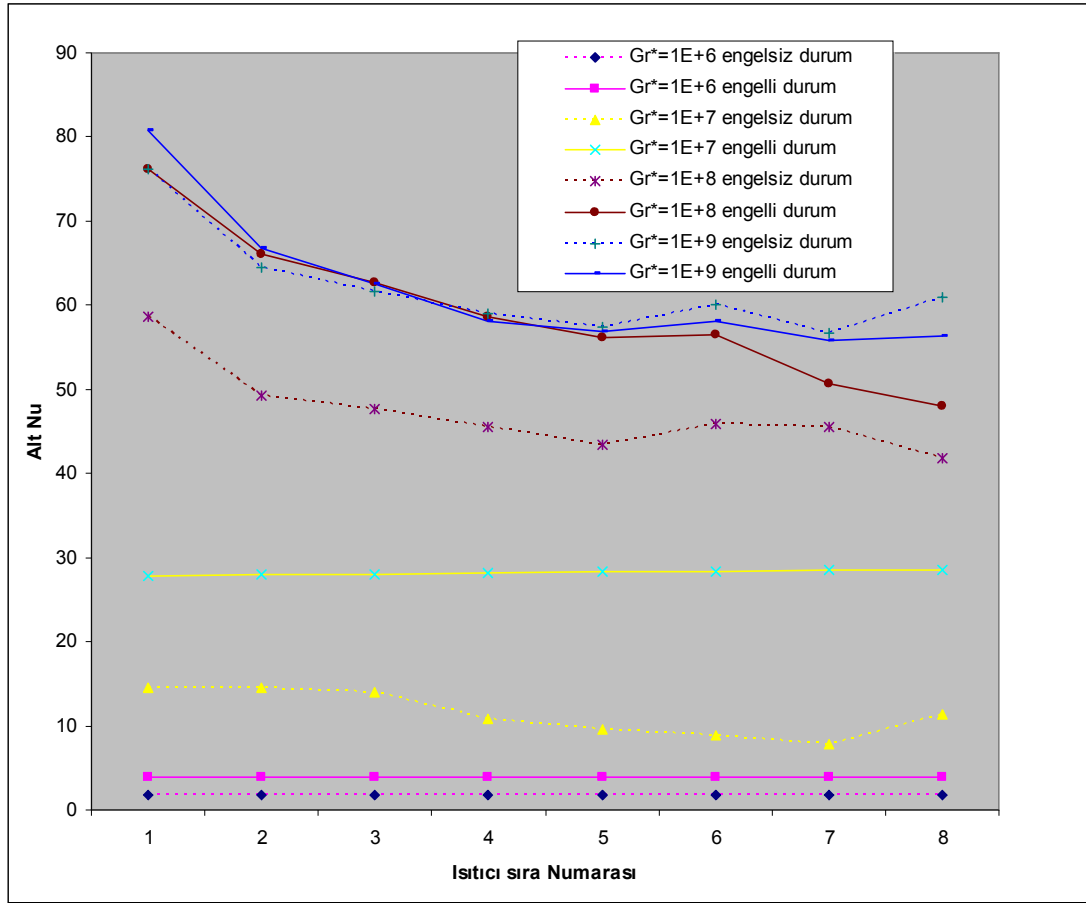
Reynolds sayısının 1750 olduğu durumda değişik Grashof sayılarında her bir ısıtıcı sırası için sıra ortalama Nusselt sayıları değerlerinin ısıtıcı sırasına göre değişimi Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 ' da verilmiştir. Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 ' dan görüldüğü üzere  $1 \times 10^7$  ile  $1 \times 10^8$  değerlerinde engelsiz durum ile engelli durum arasındaki fark diğer Grashof sayılarına göre yüksek görülmektedir.



Şekil 4.8.  $W/H=2$ ,  $Re_{Dh}=2300$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Alt Nusselt sayısına etkisi

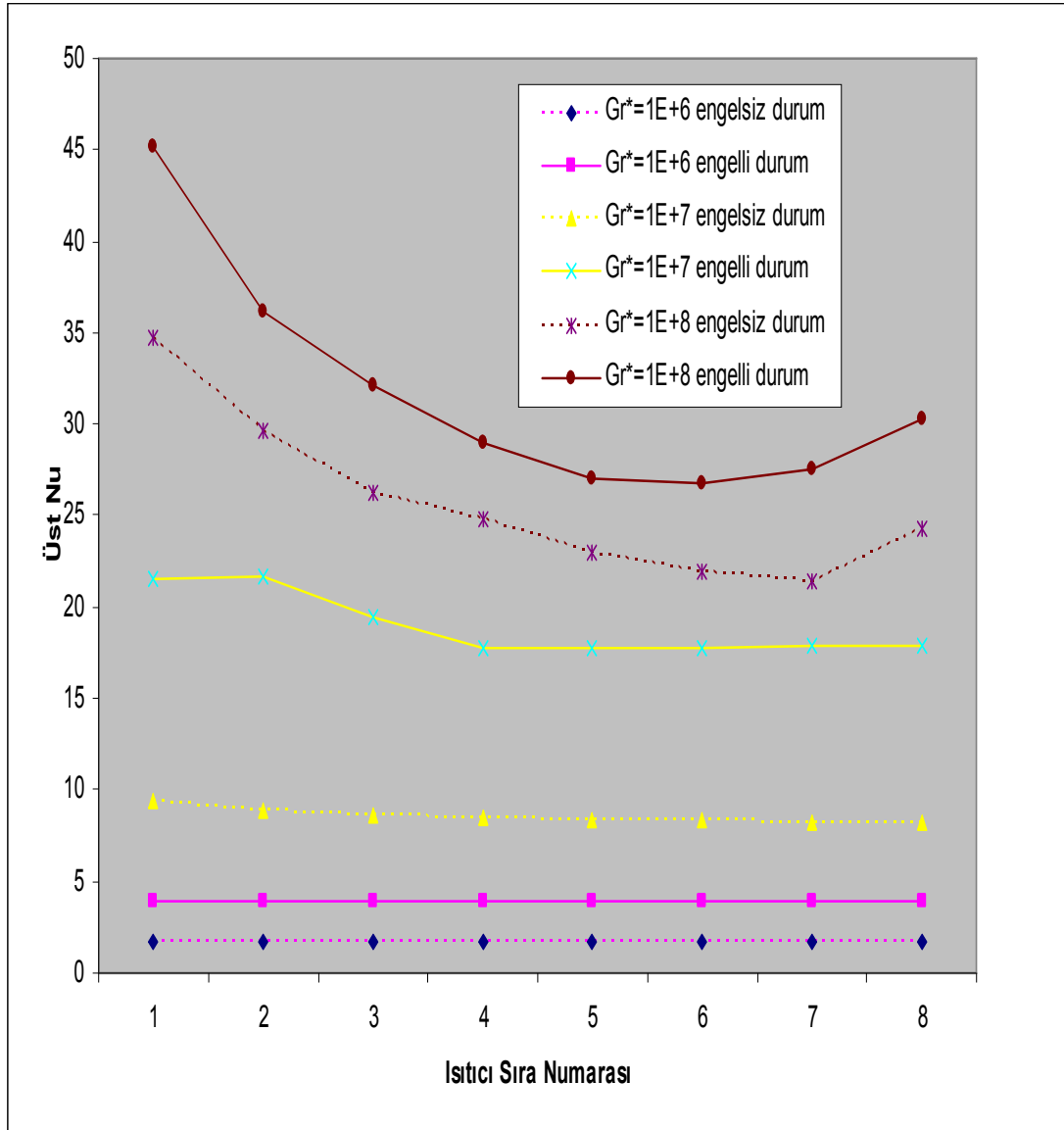


Şekil 4.9.  $W/H=2$ ,  $Re_{Dh}=1750$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Üst Nusselt sayısına etkisi



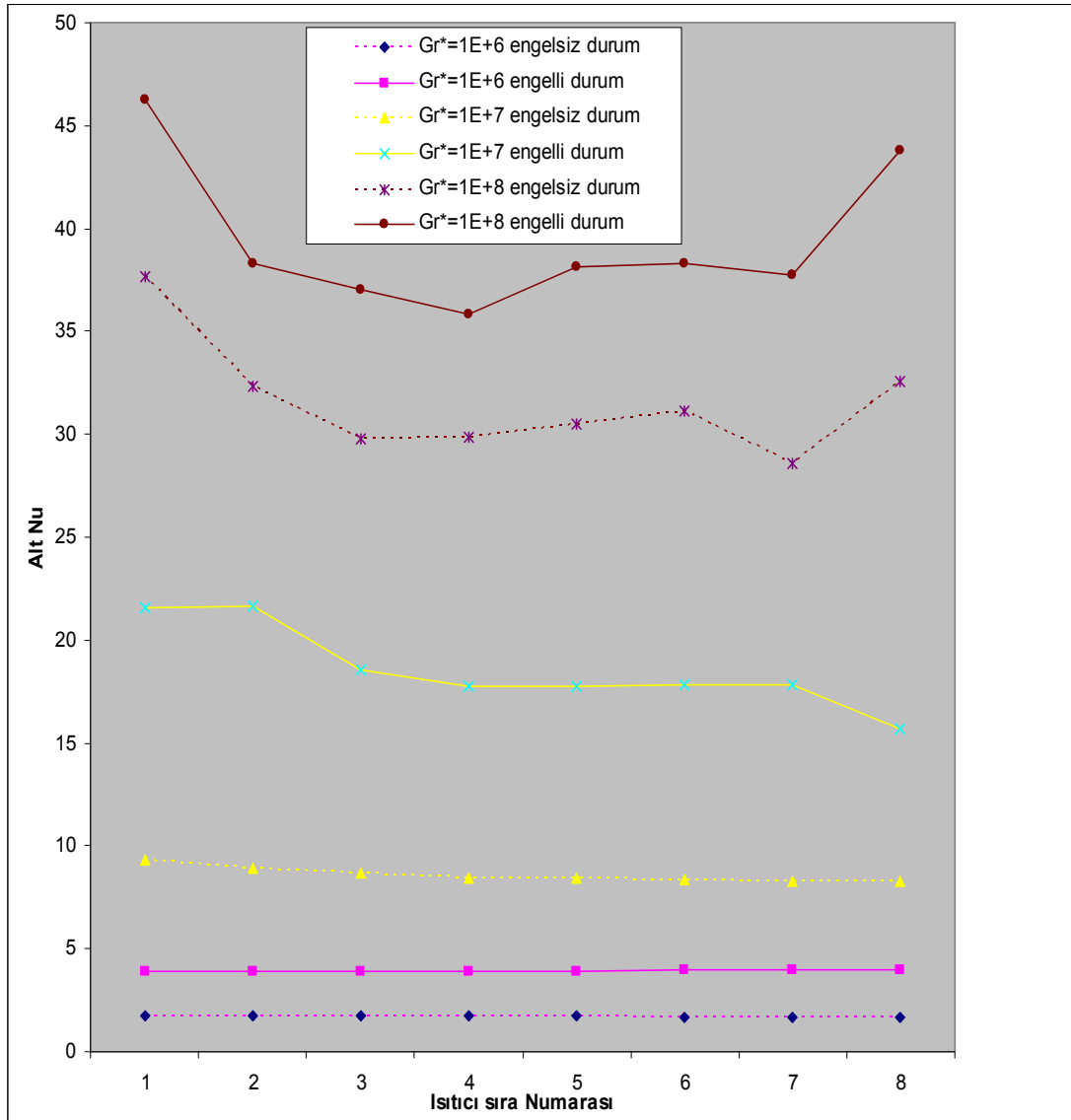
Şekil 4.10.  $W/H=2$ ,  $Re_{Dh}=1750$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Alt Nusselt sayısına etkisi

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12' de Reynolds sayısının 550 olduğu durumda üst ve alt kısımda bulunan ısıtıcılarda, ısıtıcı sırası boyunca Nusselt sayısı dağılımı verilmiştir. Şekil 4.11' de Grashof sayısı arttıkça Nusselt sayısında bir artış söz konusudur. Grashof sayısının  $1 \times 10^8$  değerinde ilk beş sırada zorlanmış konveksiyonla azalan sıra ortalama Nusselt sayısı 6. sırada çok az bir değişim göstermiştir. Bunun nedeni 6. sırada zorlanmış konveksiyon ve doğal konveksiyon etkileri birbirini dengelemekte, sonra ısıtıcı sıra numarası arttıkça doğal konveksiyon etkisi daha baskın hale gelmektedir. 7. sıradan itibaren Nusselt sayısı kaldırma kuvveti etkili ikincil akışın etkisiyle son sıralara doğru bir artış göstermektedir. Grashof sayısının  $1 \times 10^8$  değerinde Engelli durum için Üst Nusselt sayısı en yüksek değeri almaktadır.



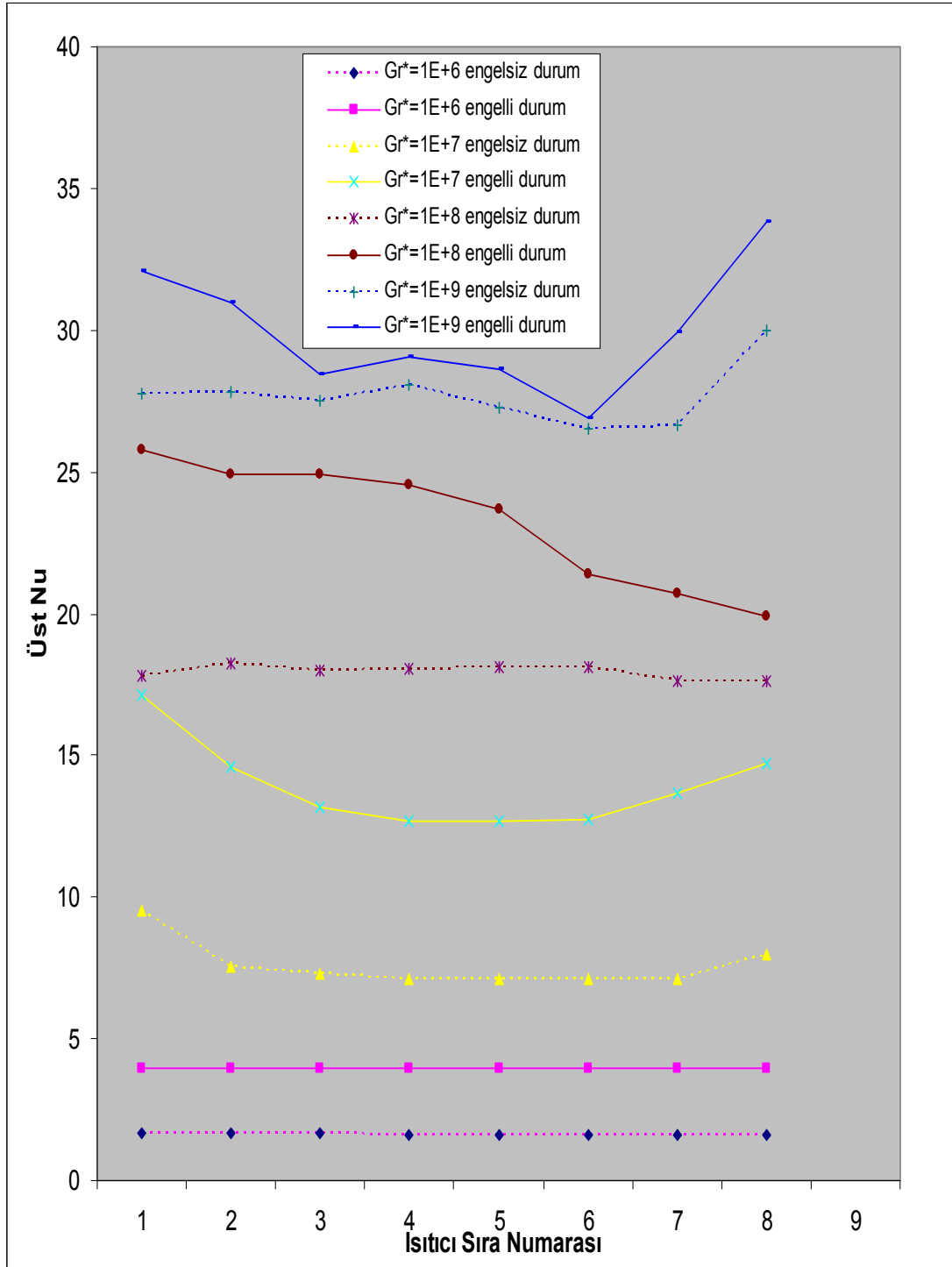
Şekil 4.11.  $W/H=2$ ,  $Re_{Dh}=550$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Üst Nusselt sayısına etkisi

Alt ısıtıcılar için çizilmiş olan Şekil 4.12' de ise ilk ısıtıcı sırasından itibaren engelli durumda engelsiz duruma göre ilk ısıtıcı sırasından itibaren Nusselt sayısı her bir Grashof sayısı için ilk dört sırada azalmış 5, 6, 7 ve 8. sırada artış göstermiştir.

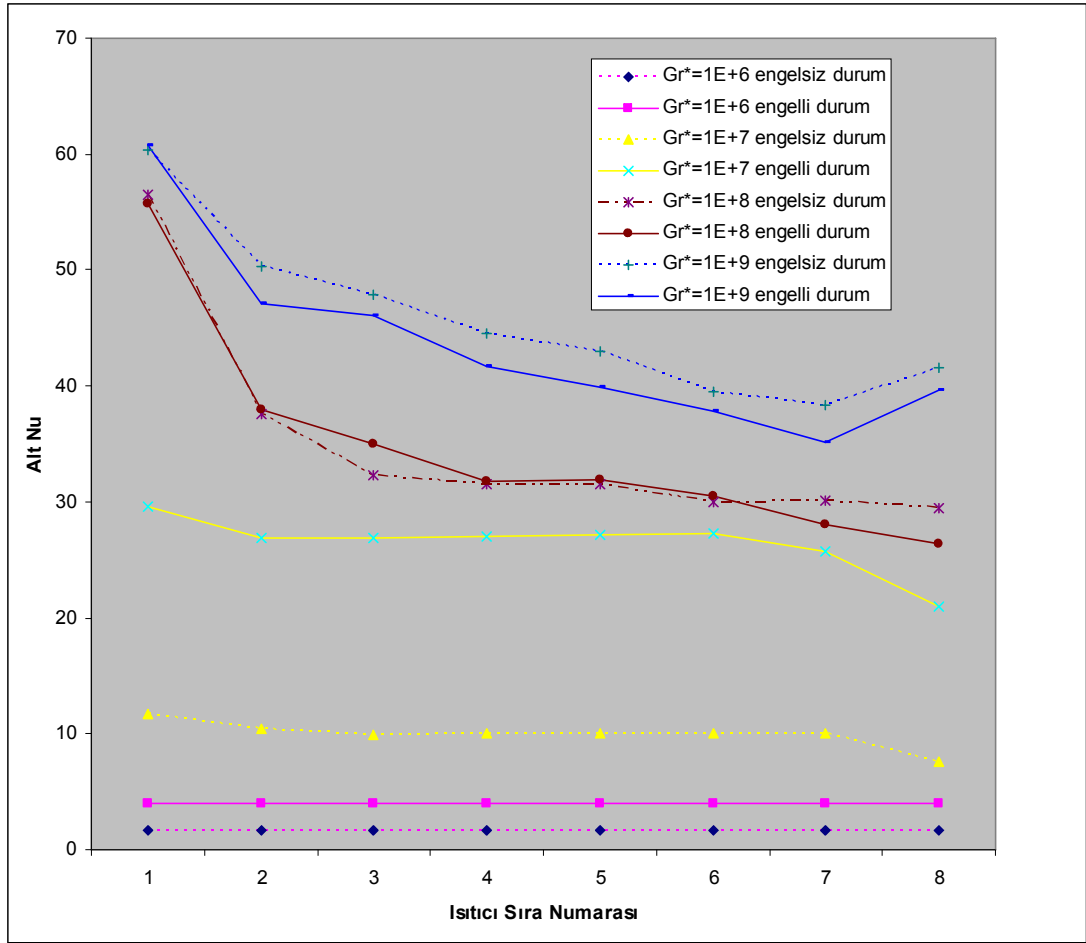


Şekil 4.12.  $W/H=2$ ,  $Re_{Dh}=550$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Alt Nusselt sayısına etkisi

$W/H=2$  ve Reynolds sayısının 150 değerinde yapılan çalışmada kanalın alt ve üst kısmında bulunan ısıtıcılar için sıra ortalama Nusselt sayısına etkisi Şekil 4.13 ve Şekil 4.14' de verilmiştir. Grashof sayısının yüksek değerlerinde Nusselt sayısı yüksek değerler alıp kanal boyunca Nusselt sayısı azalmaktadır.



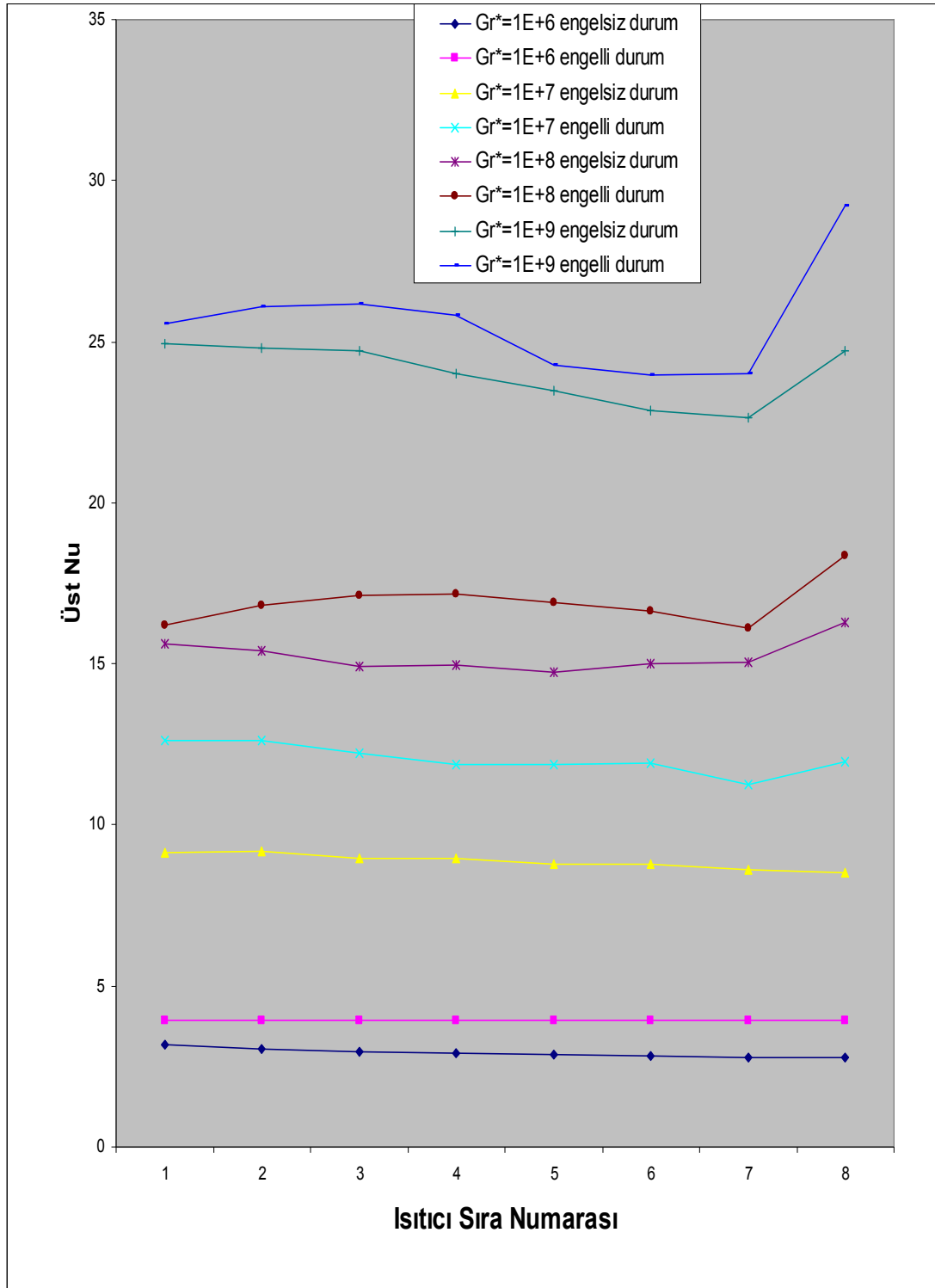
Şekil 4.13.  $W/H=2$ ,  $Re_{Dh}=150$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Üst Nusselt sayısına etkisi



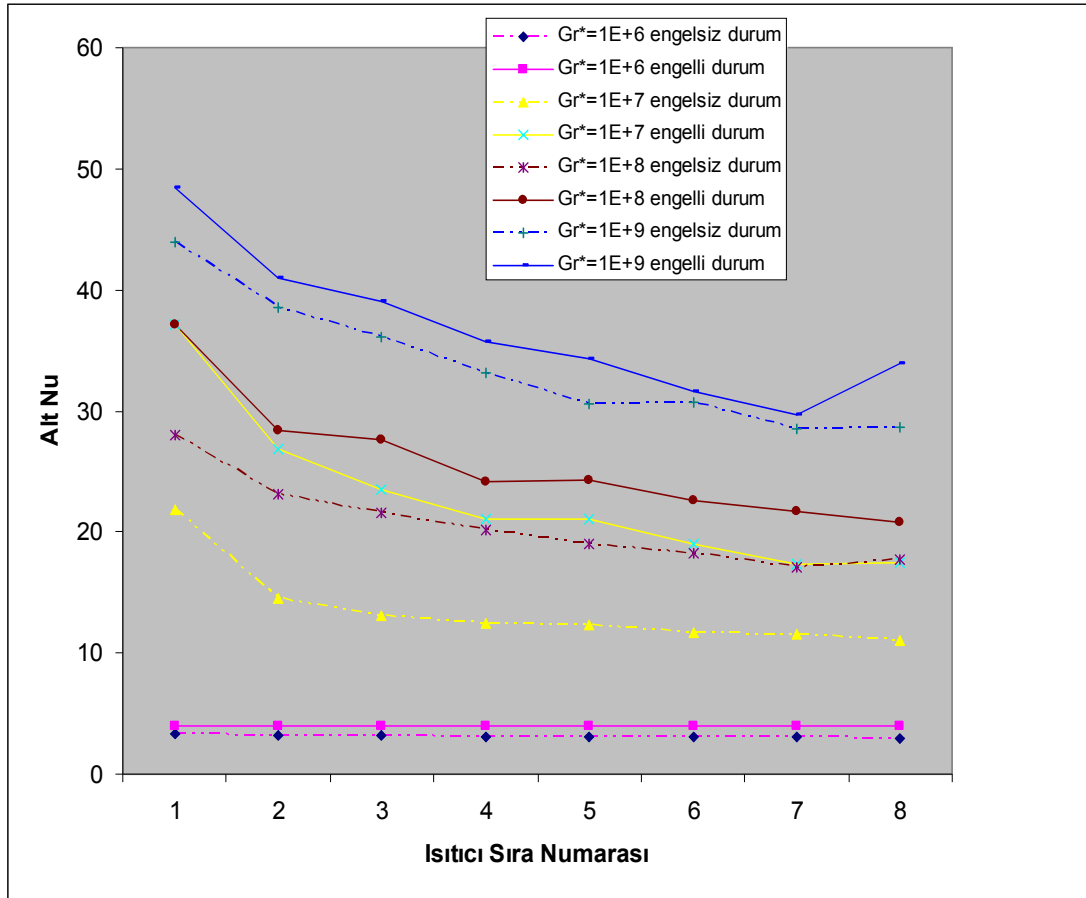
Şekil 4.14.  $W/H=2$ ,  $Re_{Dh}=150$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Alt Nusselt sayısına etkisi

Şekil 4.15' te  $W/H=2$ , Reynolds sayısının 75 olduğu durumda değişik Grashof sayıları için kanalın üst kısmında bulunan ısıtıcıların, ısıtıcı ortalama Nusselt sayılarının kanal boyunca ısıtıcı sırasına göre değişimi verilmiştir. Grashof sayısının  $1 \times 10^6$  değerinde Nusselt sayılarında engelli ile engelsiz durum arasında ve kanal boyunca fazla bir değişiklik görülmemektedir. Grashof sayısının  $1 \times 10^7, 1 \times 10^8$  ve  $1 \times 10^9$  değerlerinde engelli ve engelsiz durum için kanal boyunca altıncı sıraya kadar azalmakta, yedinci sıradan sonra ikincil akışın etkisiyle nusselt sayısı artmaktadır.

Şekil 4.16' da ise yine  $W/H=2$ , Reynolds sayısının 75 olduğu durumda değişik Grashof sayıları için kanalın alt kısmında bulunan ısıtıcıların, ısıtıcı ortalama Nusselt sayılarının kanal boyunca ısıtıcı sırasına göre değişimi verilmiştir.



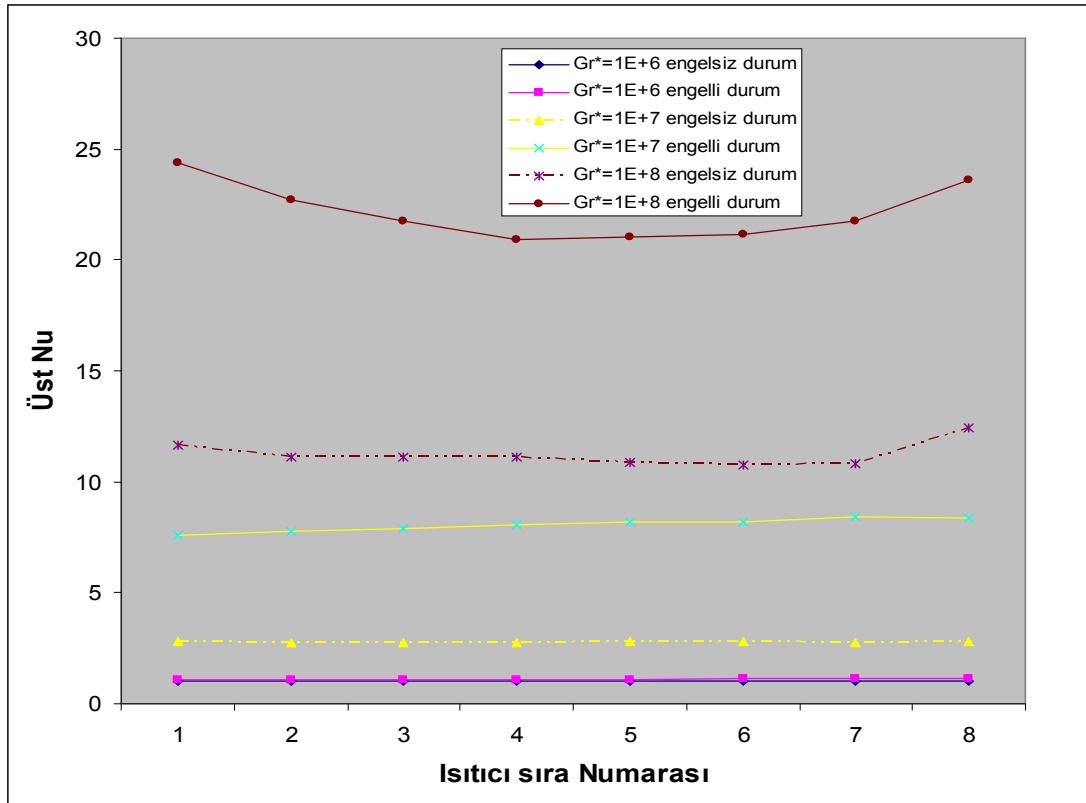
Şekil 4.15.  $W/H=2$ ,  $Re_{Dh}=75$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Üst Nusselt sayısına etkisi



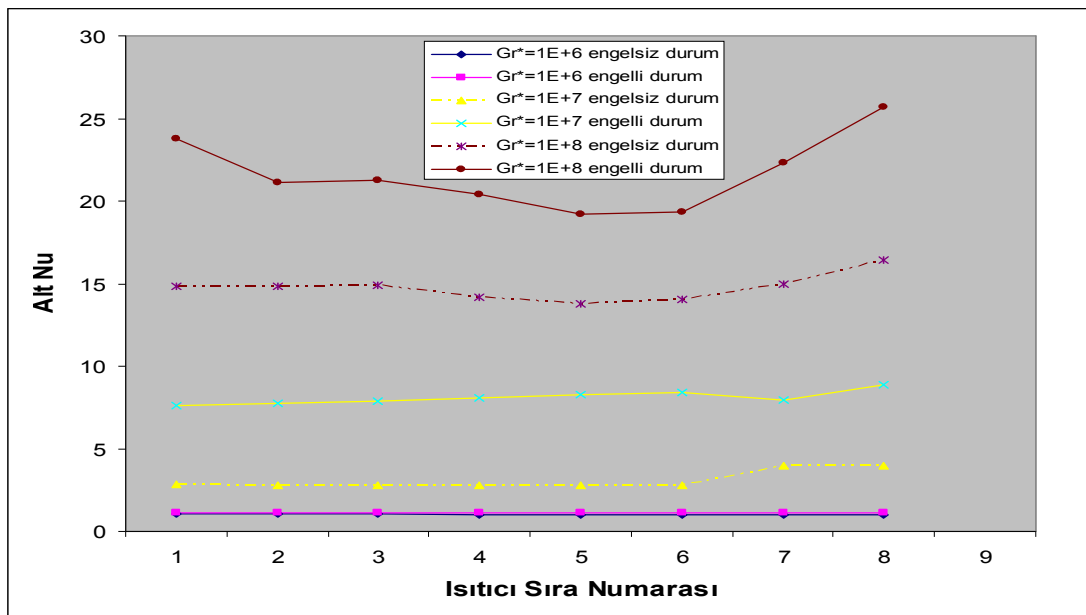
Şekil 4.16.  $W/H=2$ ,  $Re_{Dh}=75$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Alt Nusselt sayısına etkisi

Şekil 4.17 ve Şekil 4.18' de  $W/H=10$  ve Reynolds sayısının 2300 değeri için alt ve üst kısımda bulunan ısıtıcıların Nusselt sayılarının, ısıtıcı sırasına göre değişimi verilmiştir. Şekil 4.17'de Grashof sayısının  $1 \times 10^8$  değerinde Nusselt sayısı ilk dört sırada düşüş göstermiş 5. sırada değişiklik olmamış 6, 7 ve 8. sıralarda artmıştır. Grashof sayısının en düşük değerinde ise zorlanmış konveksiyon davranışı göstermiştir.

Şekil 4.18' te ise her bir Grashof sayısı için Nusselt sayısı kanal boyunca azalmıştır.



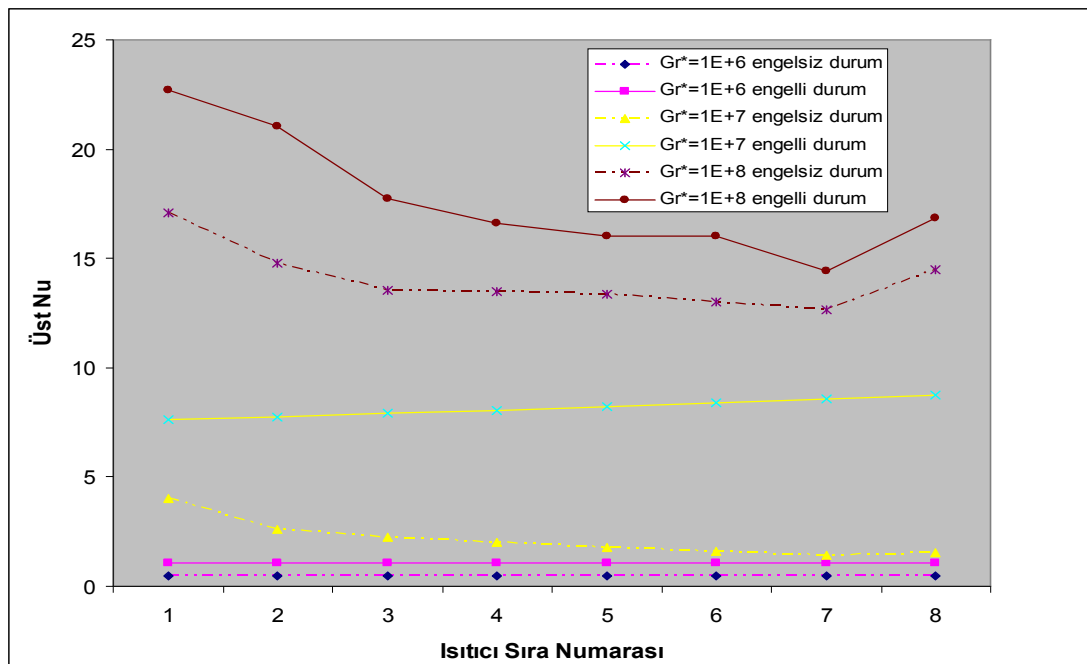
Şekil 4.17.  $W/H=10$ ,  $Re_{Dh}=2300$ ' de Grashof sayısının sıra ortalamaya Üst Nusselt sayısına etkisi



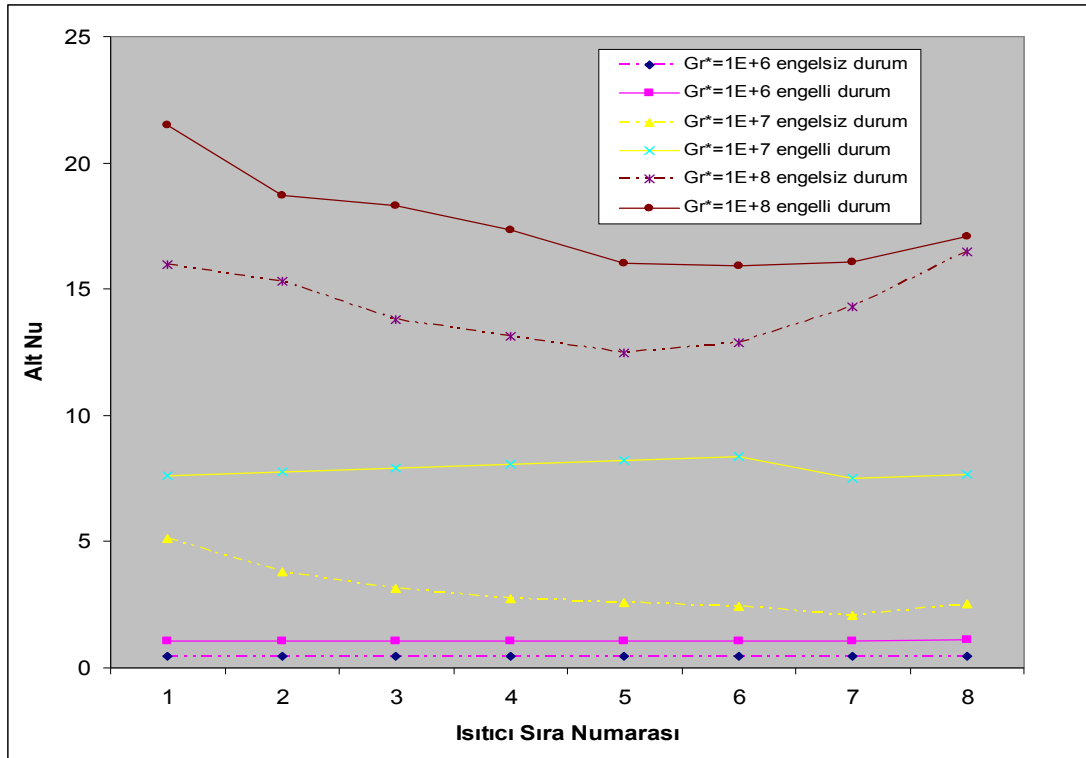
Şekil 4.18.  $W/H=10$ ,  $Re_{Dh}=2300$ ' de Grashof sayısının sıra ortalamaya Alt Nusselt sayısına etkisi

Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’ de Reynolds sayısı 1750 değeri için alt ve üst kısımda bulunan ısıtıcılarda, ısıtıcı sırası boyunca Nusselt sayısı dağılımı verilmiştir. Şekil 4.19’ da Grashof sayısı arttıkça Nusselt sayısında bir artış söz konusudur. Grashof sayısının  $1 \times 10^8$  değerinde ilk beş sırada zorlanmış konveksiyon ile azalan sıra ortalama Nusselt sayısı 6. sırada çok az bir değişim göstermiştir. Bunun nedeni 6. sırada zorlanmış konveksiyon ile doğal konveksiyon etkisi birbirini dengelemekte, sonra ısıtıcı sıra numarası arttıkça doğal konveksiyon etkisi daha baskın hale gelmektedir. Dolayısıyla bu iki sıra için ortalama Nusselt sayısı kaldırma kuvveti etkili ikincil akışın etkisiyle son sıralara doğru bir artış göstermektedir. Üst ısıtıcılar için çizilmiş olan Şekil 4.19 dikkate alındığında, Grashof sayısı arttıkça Nusselt sayısı arasındaki fark ısıtıcı sırası boyunca artmaktadır.

Alt kısımda bulunan ısıtıcılar için elde edilen Şekil 4.20’de ise grashof sayısının  $1 \times 10^8$  değeri için Nusselt sayısı ilk ısıtıcı sırasından itibaren 5. ısıtıcı sırasına kadar alt Nusselt sayısı belirgin şekilde azalmakta 6. ve 7. sırada azalış durmakta ve 8. sırada alt Nusselt sayısı artmaktadır.



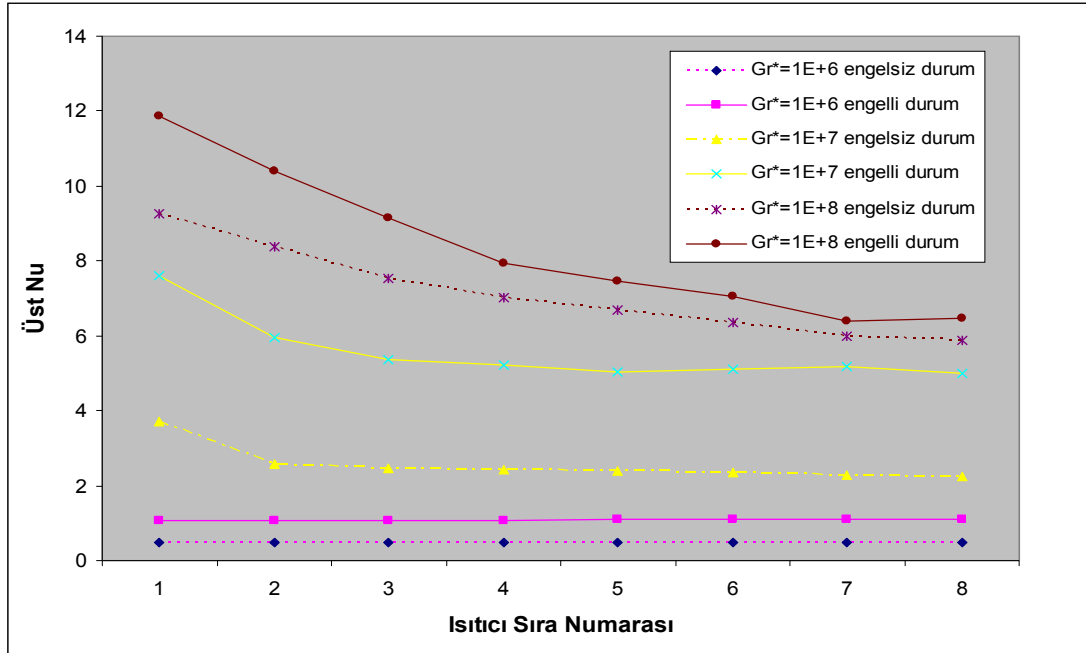
Şekil 4.19.  $W/H=10$ ,  $Re_{Dh}=1750$ ’ de Grashof sayısının sıra ortalama Üst Nusselt sayısına etkisi



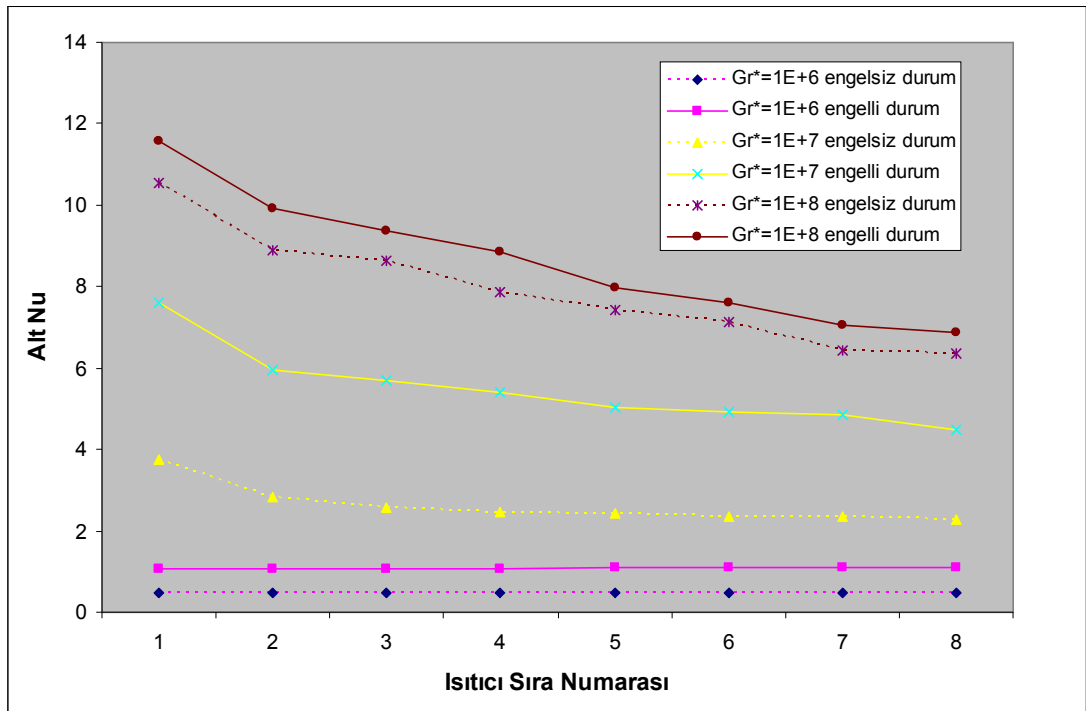
Şekil 4.20.  $W/H=10$ ,  $Re_{Dh}=1750$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Alt Nusselt sayısına etkisi

Belli bir Reynolds sayısında, farklı grashof sayıları için kanalın alt ve üst kısmında bulunan ısıtıcıların, ısıtıcı ortalama Nusselt sayılarının kanal boyunca ısıtıcı sırasına göre değişimi Şekil 4.21'de verilmiştir. Şekil 4.21' de Reynolds sayısının 550 olduğu durum için grashof sayısının Üst Nusselt sayısına etkisi gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, düşük grashof sayılarında engelli ve engelsiz durum için nusselt sayısı arasında değişim olmakta fakat ısıtıcı sırası boyunca Nusselt sayısı çok fazla değişmemektedir. Yüksek Grashof sayılarında kanal girişinde 1. ısıtıcı sırasında Nusselt değeri 12' den başlayıp ısıtıcı sırası boyunca azalmıştır.

Şekil 4.22' de  $W/H=10$ , Reynolds sayısının 550 olduğu değer için değişik Grashof sayılarında Nusselt sayılarının ısıtıcı sırasına göre değişimi verilmiştir. Şekil 4.22' de farklı Grashof sayıları için engelsiz durumda akış tamamen ana akışın etkisinde olup her bir Grashof sayısı için kanal boyunca Nusselt sayısı azalmış ve zorlanmış konveksiyona yakın bir davranış göstermiştir.

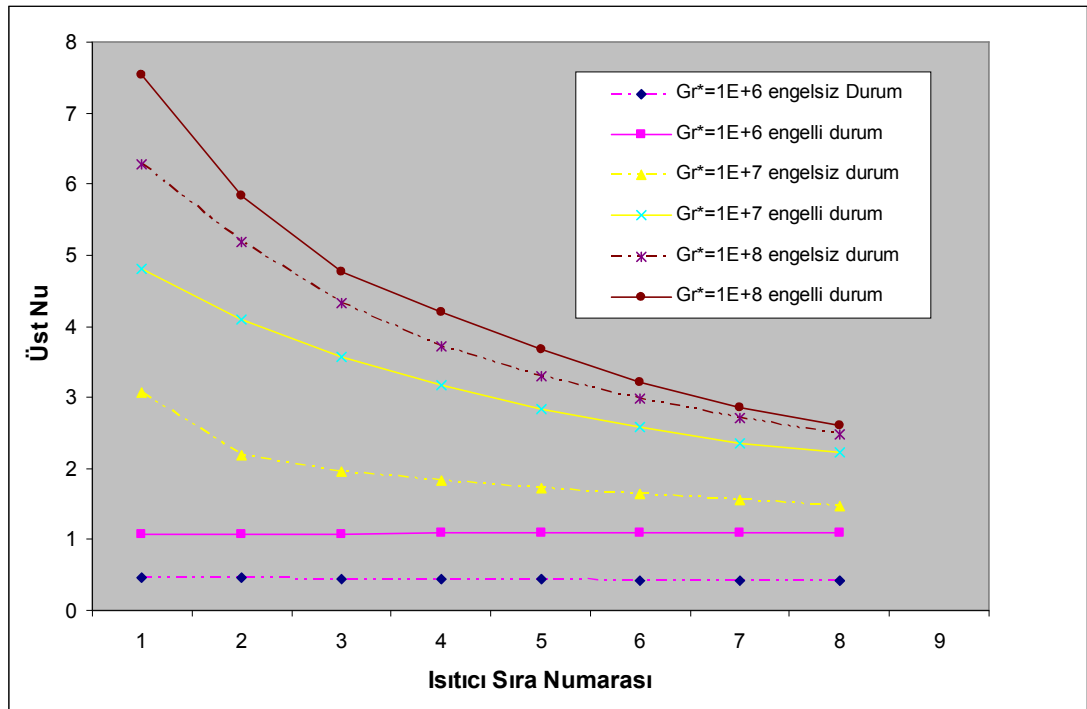


Şekil 4.21.  $W/H=10$ ,  $Re_{Dh}=550$ ' de Grashof sayısının sıra ortalaması Üst Nusselt sayısına etkisi



Şekil 4.22.  $W/H=10$ ,  $Re_{Dh}=550$ ' de Grashof sayısının sıra ortalaması Alt Nusselt sayısına etkisi

Reynolds sayısı 150,  $W/H=10$  ve değişik Grashof sayılarında kanalın alt ve üst kısmında bulunan ısıtıcıların, ısıtıcı ortalama Nusselt sayılarının kanal boyunca ısıtıcı sırasına göre değişimi Şekil 4.23 ile Şekil 4.24’ de verilmiştir. Şekil 4.23’ te ısıtıcı sırası boyunca düşük Grashof sayılarında engelli ile engelsiz durumda, engelli durumdaki Nusselt sayısının daha yüksek olduğu görölmektedir. Yüksek Grashof sayılarında ısıtıcı sırası boyunca Nusselt sayısında azalma görölmektedir.

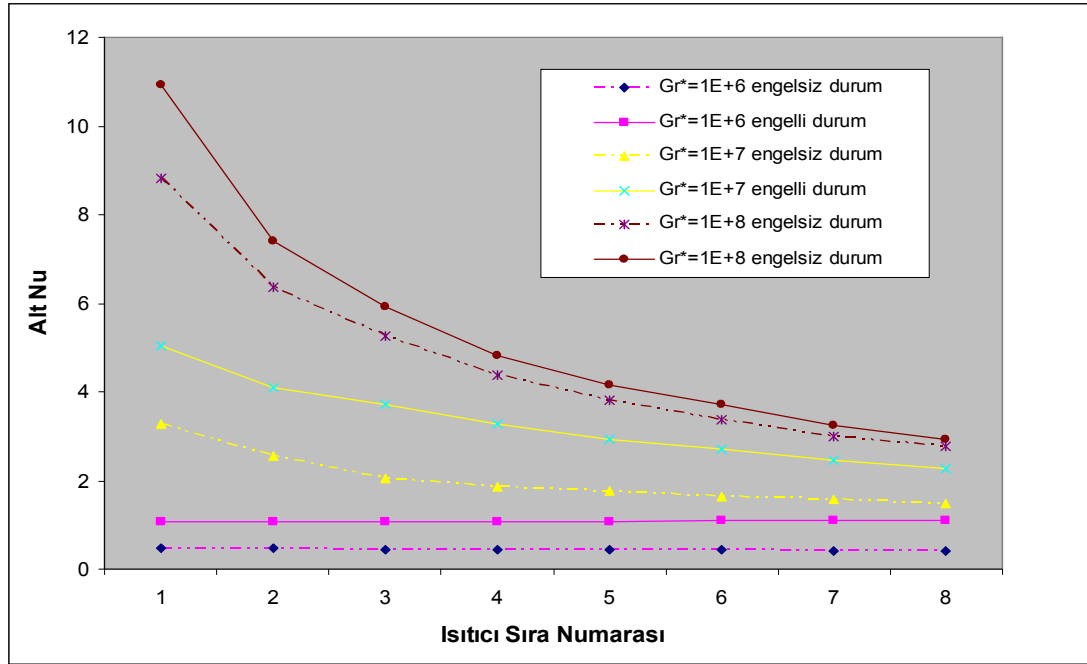


Şekil 4.23.  $W/H=10$ ,  $Re_{Dh}=150$ ’ de Grashof sayısının sıra ortalama Üst Nusselt sayısına etkisi

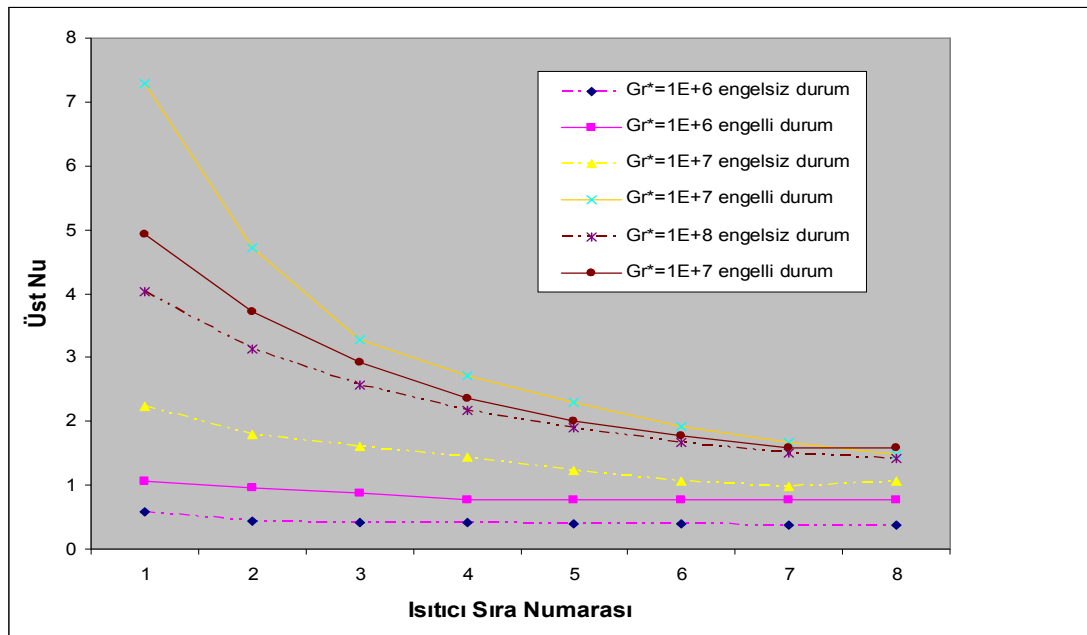
Şekil 4.24’ te elde edilen grafikte  $W/H=6$ , Reynolds sayısı 150 ve farklı Grashof değerleri için yapılan çalışmada alt Nusselt sayısının ısıtıcı sırasına göre değişimi verilmiştir.

$W/H=10$ , Reynolds sayısı 75 değerinde farklı Grashof değerlerinde kanalın alt ve üst yüzeyindeki Nusselt sayılarının karşılaştırılması engelsiz ve engelli duruma göre elde edilen sonuçlar Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’ da verilmektedir. Üst kısımda bulunan ısıtıcılar için çizilen grafikte engelli durum için üst Nusselt sayısı ilk sırada en yüksek değeri almış kanal boyunca Nusselt sayısında azalma meydana gelmiştir.

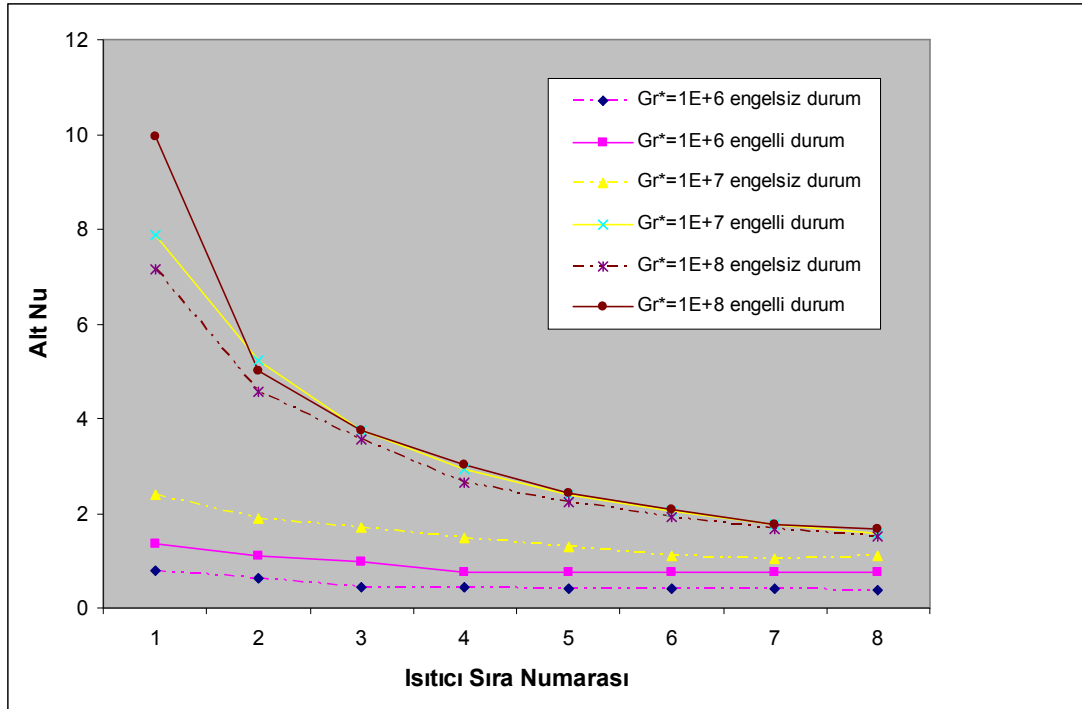
Engelli ve engelsiz durum için son ısıtıcı sırasında Nusselt sayıları arasındaki fark kapanmıştır.



Şekil 4.24.  $W/H=10$ ,  $Re_{Dh}=150$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Alt Nusselt sayısına etkisi



Şekil 4.25.  $W/H=10$ ,  $Re_{Dh}=75$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Üst Nusselt sayısına etkisi

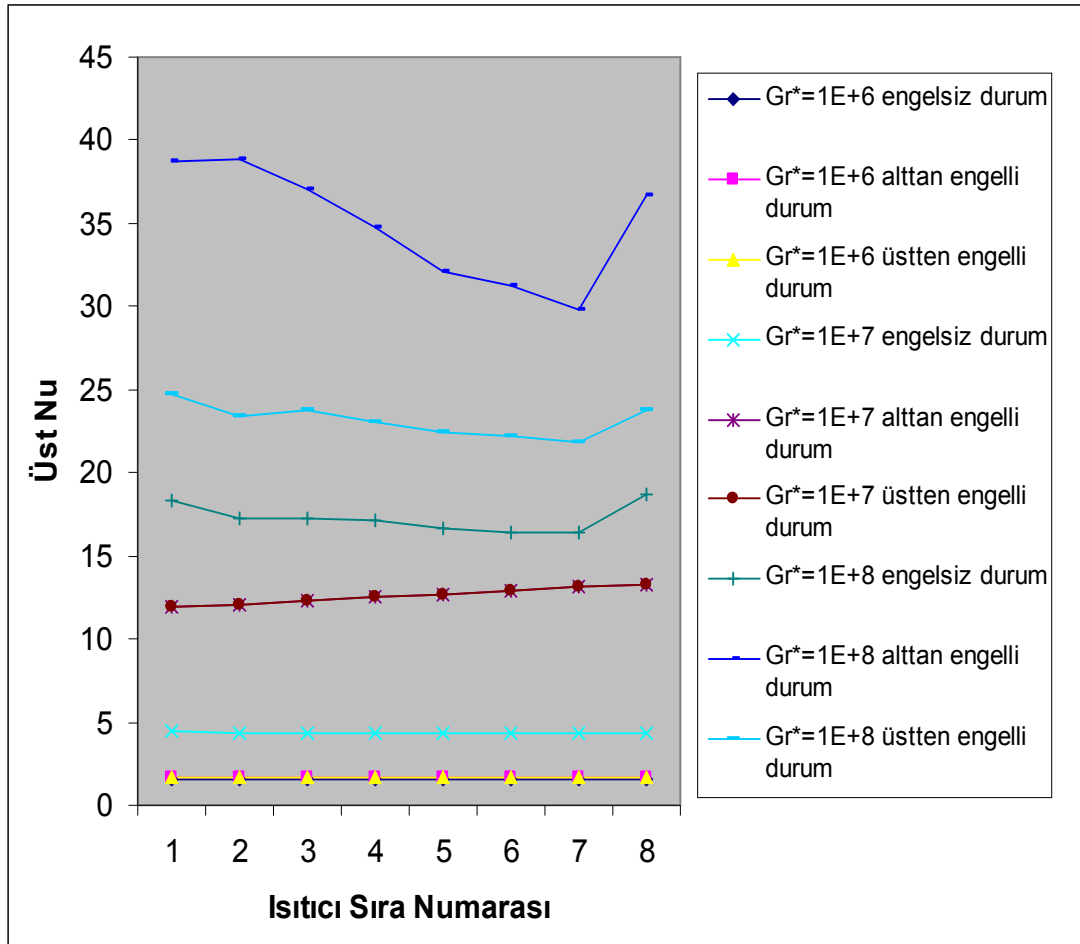


Şekil 4.26.  $W/H=10$ ,  $Re_{Dh}=75$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Alt Nusselt sayısına etkisi

Şekil 4.27'de  $W/H=6$ , Reynolds sayısı 2300 olduğu değer için değişik Grashof sayıları için yapılan çalışmada engelsiz durum, plakanın kanal çıkışında alt tarafa konulması ile plakanın kanal çıkışında üst tarafa konulması durumları için üst Nusselt sayılarının ısıtıcı sırasına göre değişimleri verilmiştir. Grashof sayılarının  $1 \times 10^6$  ile  $1 \times 10^7$  durumları için kanal çıkışına konulan plakanın alttan ve üstten konulması durumunda üst Nusselt sayıları arasında fark bulunmamaktadır. Grashof sayısının  $1 \times 10^8$  değerinde ise kanal çıkışına konulan plakanın alt tarafa konulması durumunu, engelsiz duruma göre kıyaslandığında üst Nusselt sayısı arasındaki fark engelin üst tarafa konulması durumuna göre çok daha fazladır.

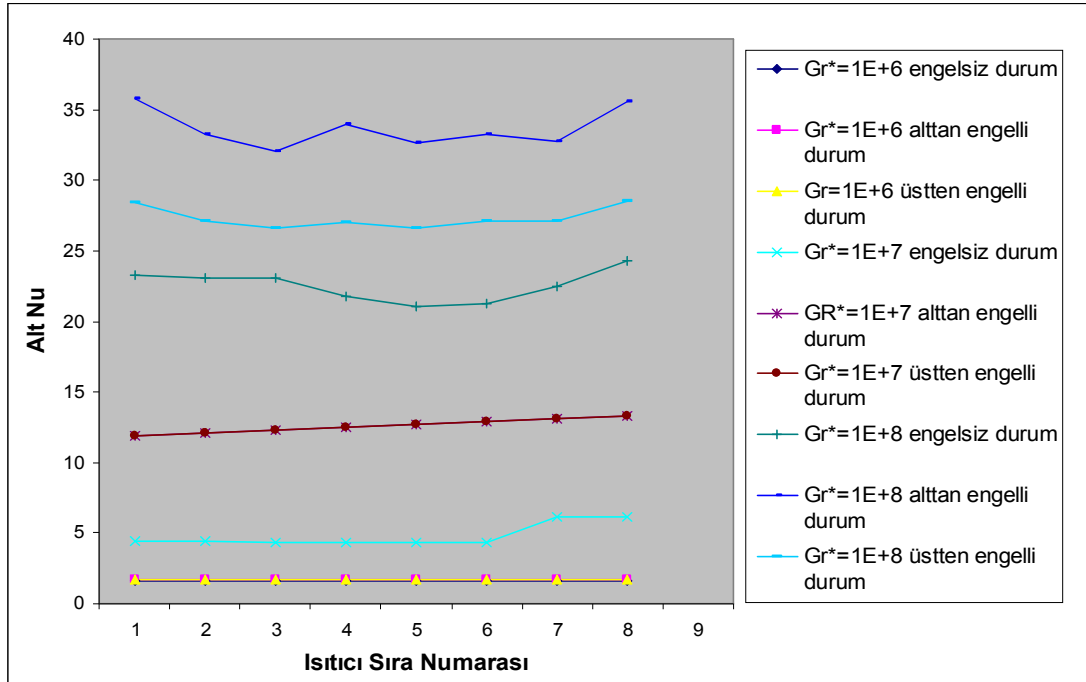
Şekil 4.28' te ise  $W/H=6$ , Reynolds sayısı 2300 olduğu değer için değişik Grashof sayıları için yapılan çalışmada engelsiz durum, plakanın kanal çıkışında alt tarafa konulması ile plakanın kanal çıkışında üst tarafa konulması durumları için alt Nusselt sayılarının ısıtıcı sırasına göre değişimleri verilmiştir. Yüksek Grashof sayılarında kanal çıkışında alt tarafa konulan plakanın engelsiz ve kanal çıkışında üst tarafa

konulması durumuna göre alt nusselt sayıları arasındaki fark daha yüksek çıkmaktadır.

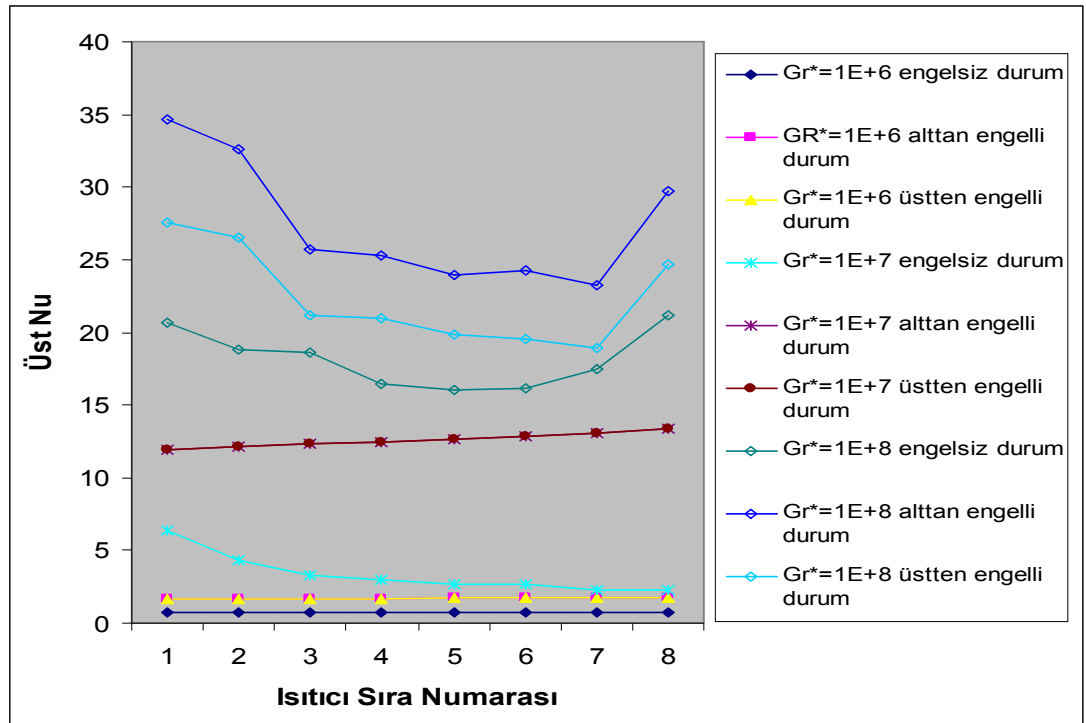


Şekil 4.27.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=2300$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Üst Nusselt sayısına etkisi

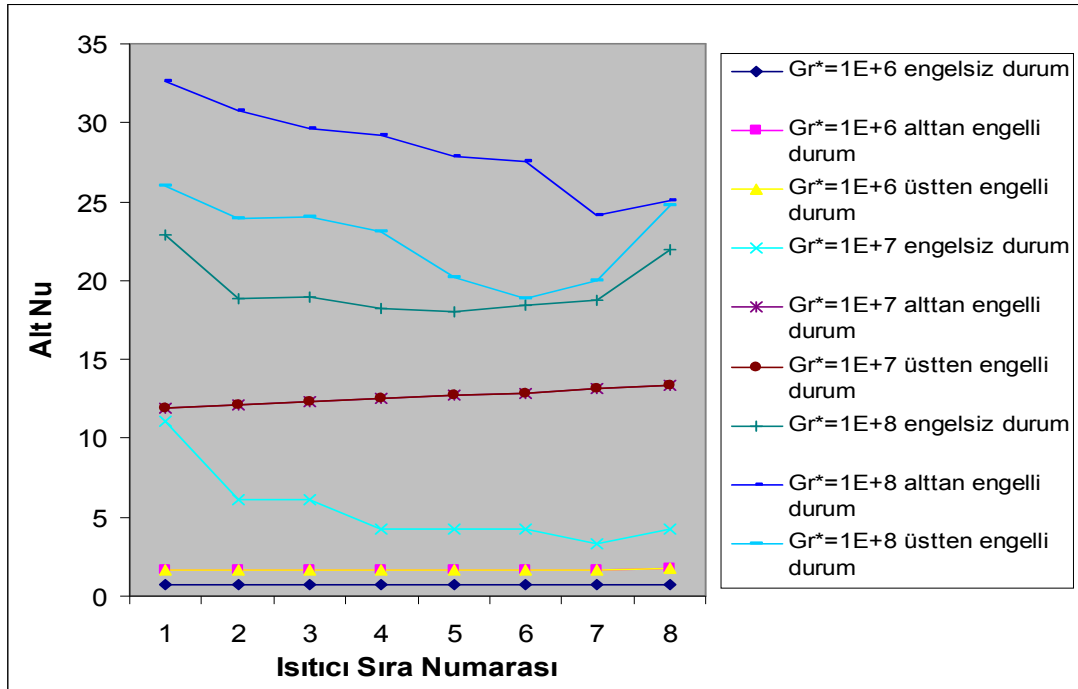
Şekil 4.29 ve Şekil 4.30' da elde edilen grafikte  $W/H=6$ , Reynolds sayısı 1750 ve değişik Grashof sayıları için yapılan çalışmada kanal çıkışında alt tarafa konulan plakanın daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Düşük Grashof sayısında üst kısımda akışkan hareketi alt kısma göre daha yavaş gerçekleşmektedir. Çünkü alt kısımda ısıtıcılar hem ana akışın, hemde kaldırma kuvveti etkili ikincil akışın etkisindedir.



Şekil 4.28.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=2300$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Alt Nusselt sayısına etkisi



Şekil 4.29.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=1750$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Üst Nusselt sayısına etkisi

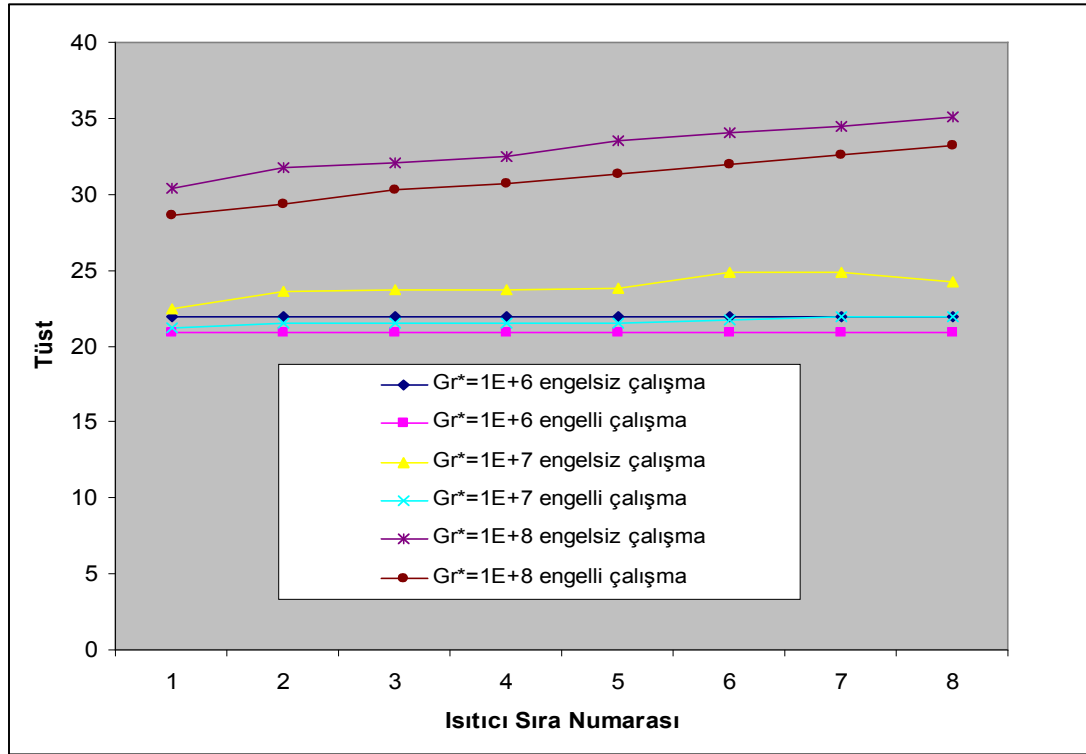


Şekil 4.30.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=1750$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Alt Nusselt sayısına etkisi

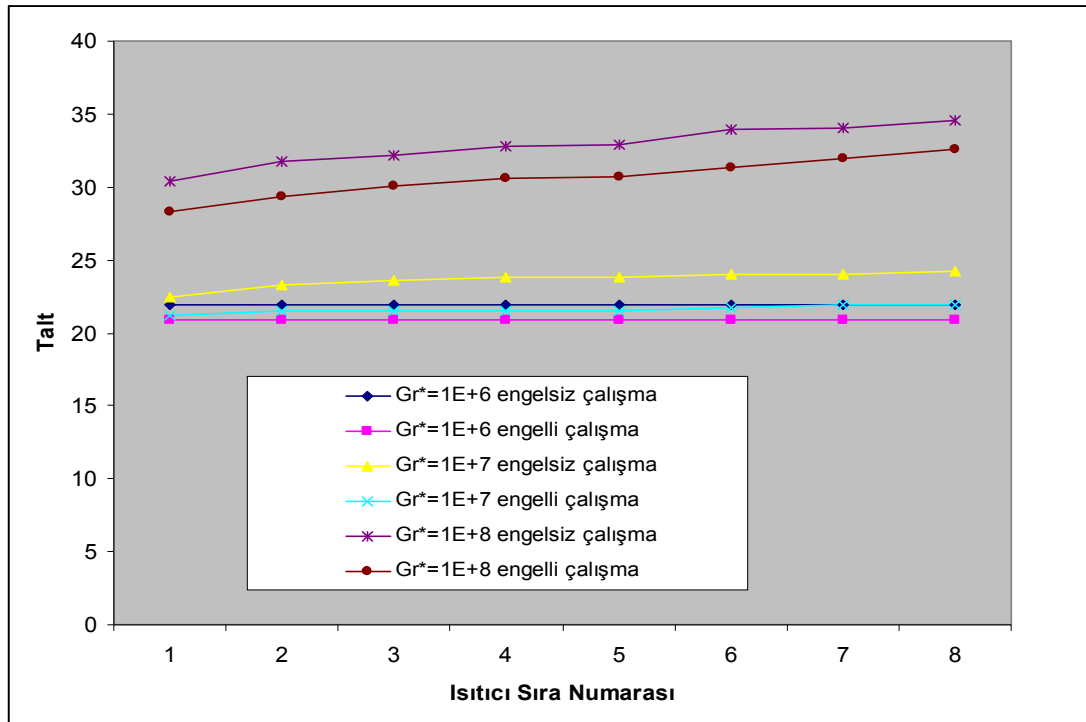
Şekil 4.31 ve Şekil 4.32' de  $W/H=6$  ve Reynolds sayısının 550 değeri için alt ve üst kısımda bulunan ısıtıcı sıralarının ortalama yüzey sıcaklıklarının ısıtıcı sırasına göre değişimi verilmiştir. Grashof sayısının  $1 \times 10^8$  değerinde sıcaklıklar ısıtıcı sırasına göre sürekli artış göstermiştir. Değişik Grashof sayılarında yapılan çalışmada alt ve üst duvarda bulunan ısıtıcıların sıra ortalama yüzey sıcaklıkları Grashof sayısı arttıkça artmaktadır.

Şekil 4.33' te  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=550$  ve  $Gr_{Dh}^*=1 \times 10^8$  değerinde kanal boyunca alt ve üst ısıtıcıların z-y düzleminde sıcaklık kontur grafiği görülmektedir. z yönünde giriş tarafından çıkışa doğru gidildikçe ısıtıcılar üzerindeki sıcaklığın değiştiği ve arttığı gözlenmektedir.

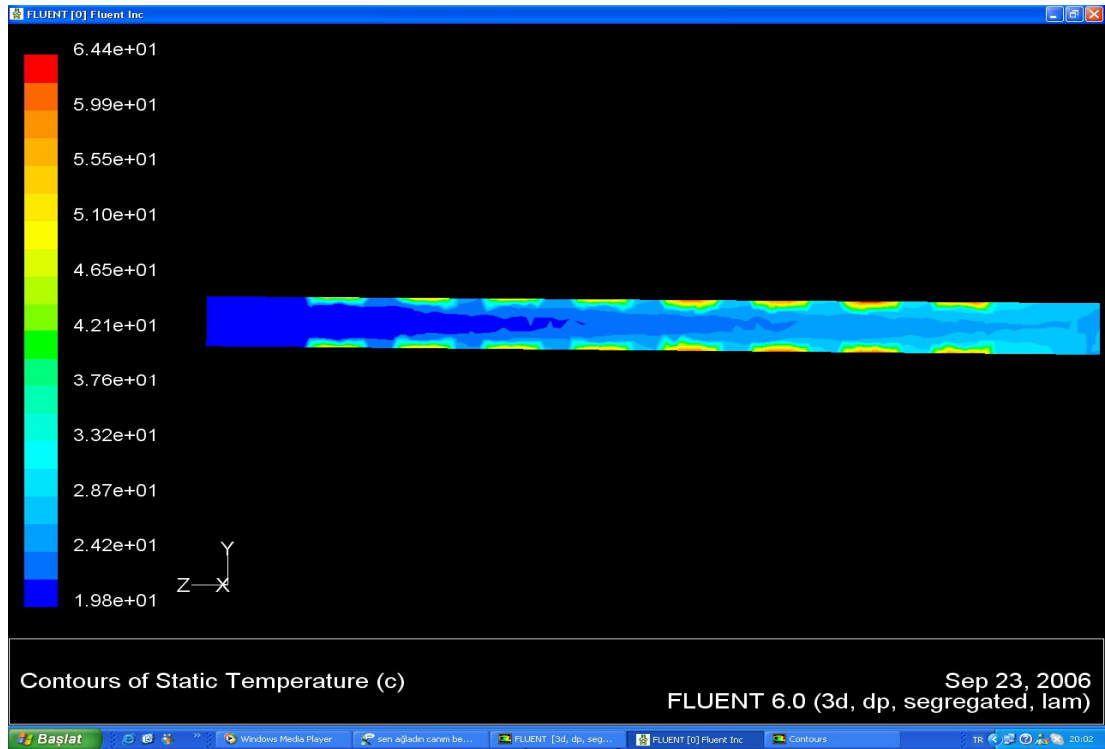
Şekil 4.34' te ise  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=550$  ve  $Gr_{Dh}^*=1 \times 10^8$  değerinde kanal boyunca alt ve üst ısıtıcıların x-z düzleminde vektörel hız profilleri görülmektedir. Başlangıçta üniform olan hız vektörleri kanal çıkışında bozulmaktadır.



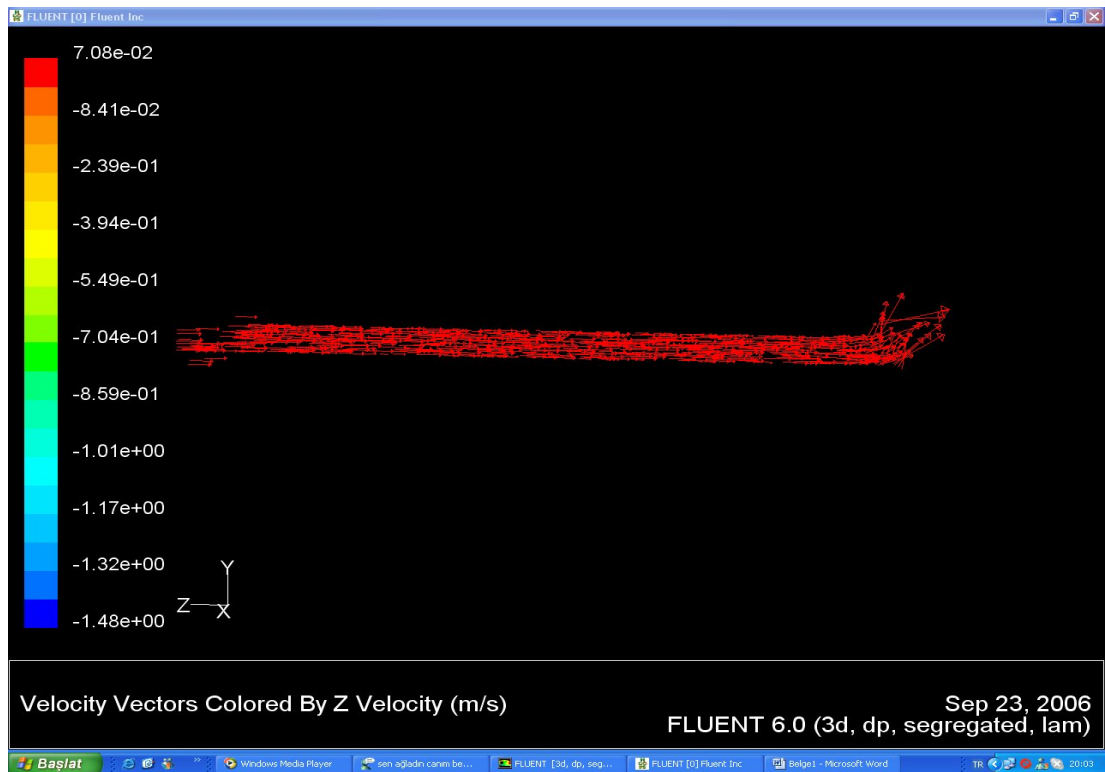
Şekil 4.31.  $W/H=6$  ve  $Re_{Dh}=550$  için üst duvar ısıtıcı sıcaklıklarının ısıtıcı sırasına göre değişimi



Şekil 4.32.  $W/H=6$  ve  $Re_{Dh}=550$  için alt duvar ısıtıcı sıcaklıklarının ısıtıcı sırasına göre değişimi



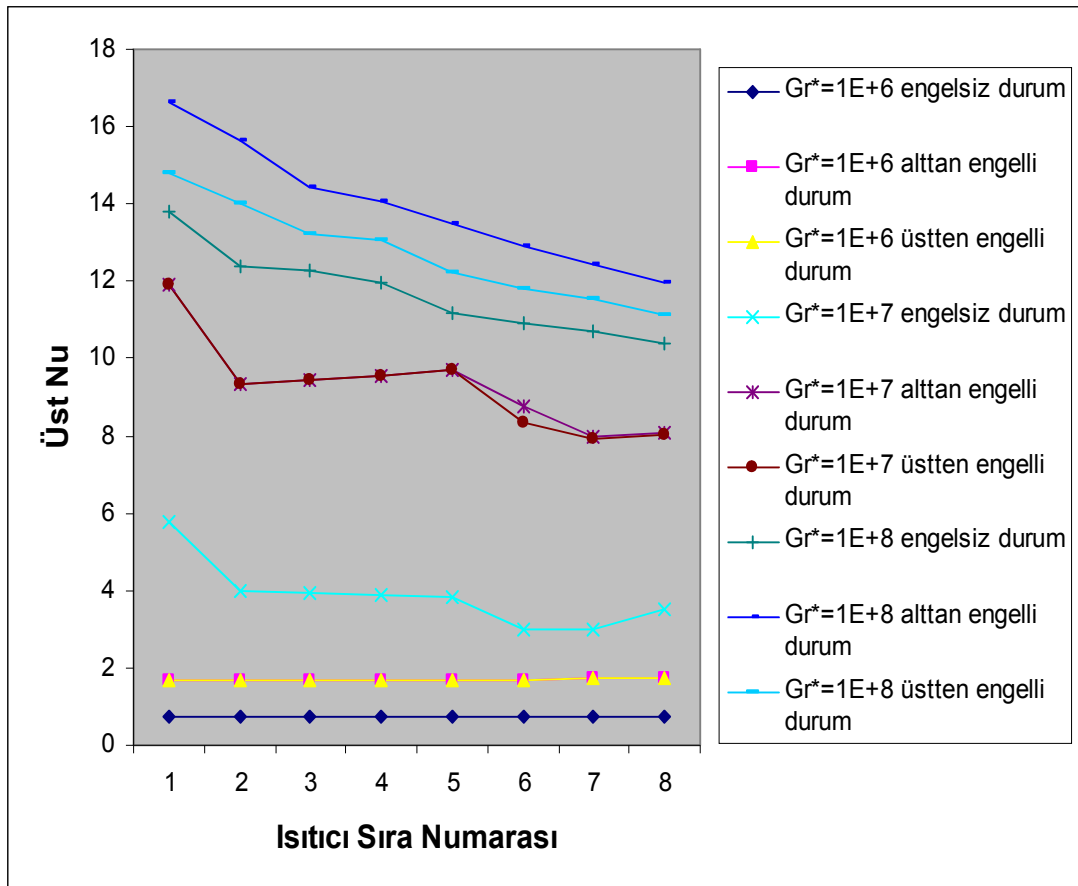
Şekil 4.33.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=550$  ve  $Gr_{Dh}^*=1 \times 10^8$  için z-y düzleminde sıcaklık kontur grafiği



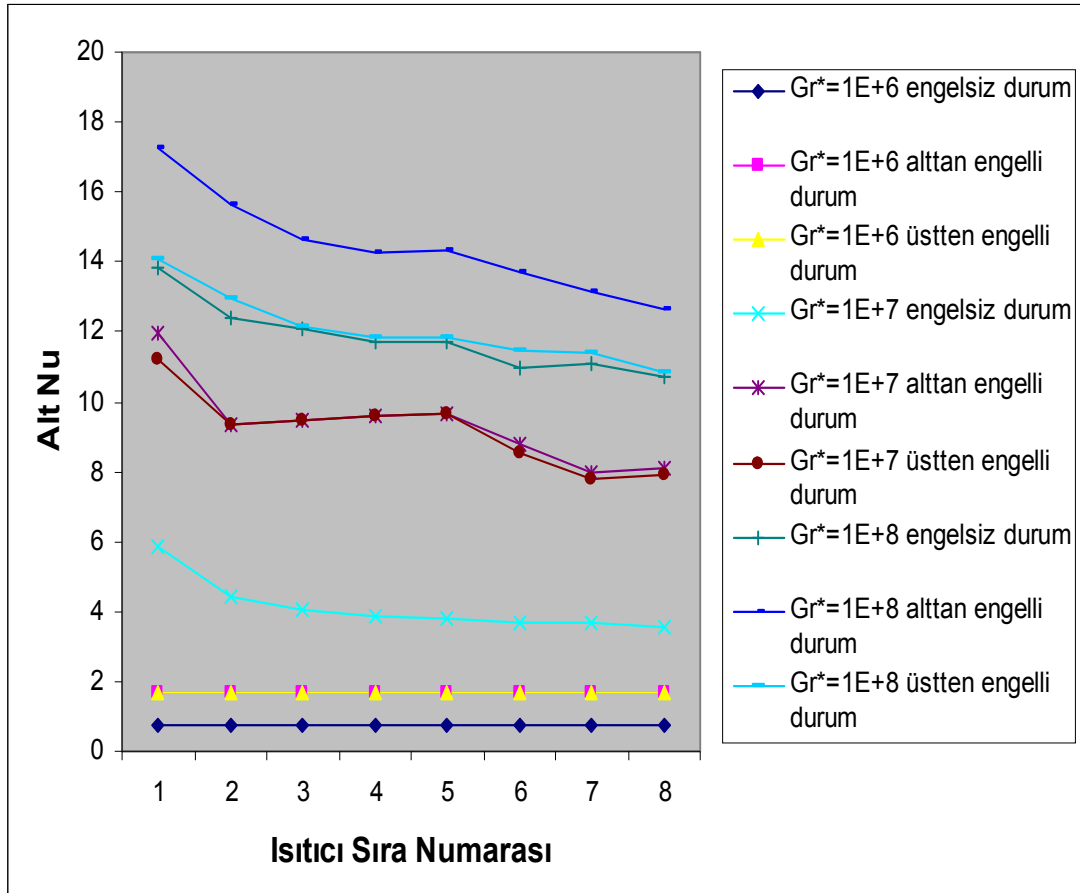
Şekil 4.34.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=550$  ve  $Gr_{Dh}^*=1 \times 10^8$  için x-z düzleminde hız profilleri

Şekil 4.35' de  $W/H=6$ , Reynolds sayısı 550 için değişik Grashof sayıları için yapılan çalışmada Nusselt sayısının ısıtıcı sırasına göre değişimi verilmiştir. Grashof sayısının  $1 \times 10^8$  değerinde ana akışın etkisiyle kanal boyunca Üst Nusselt sayısı azalmıştır.

Şekil 4.36' da  $W/H=6$ , Reynolds sayısı 550 için değişik Grashof sayıları için yapılan çalışmada Nusselt sayısının ısıtıcı sırasına göre değişimi verilmiştir. Grashof sayısının  $1 \times 10^7$  ile  $1 \times 10^8$  değerlerinde 2. ısıtıcı sırasına kadar Alt Nusselt sayısı azalmakta, 3, 4 ve 5. sırada Alt Nusselt sayısında fazla bir değişme olmamış ve diğer ısıtıcı sıralarında alt Nusselt sayısı azalmıştır.



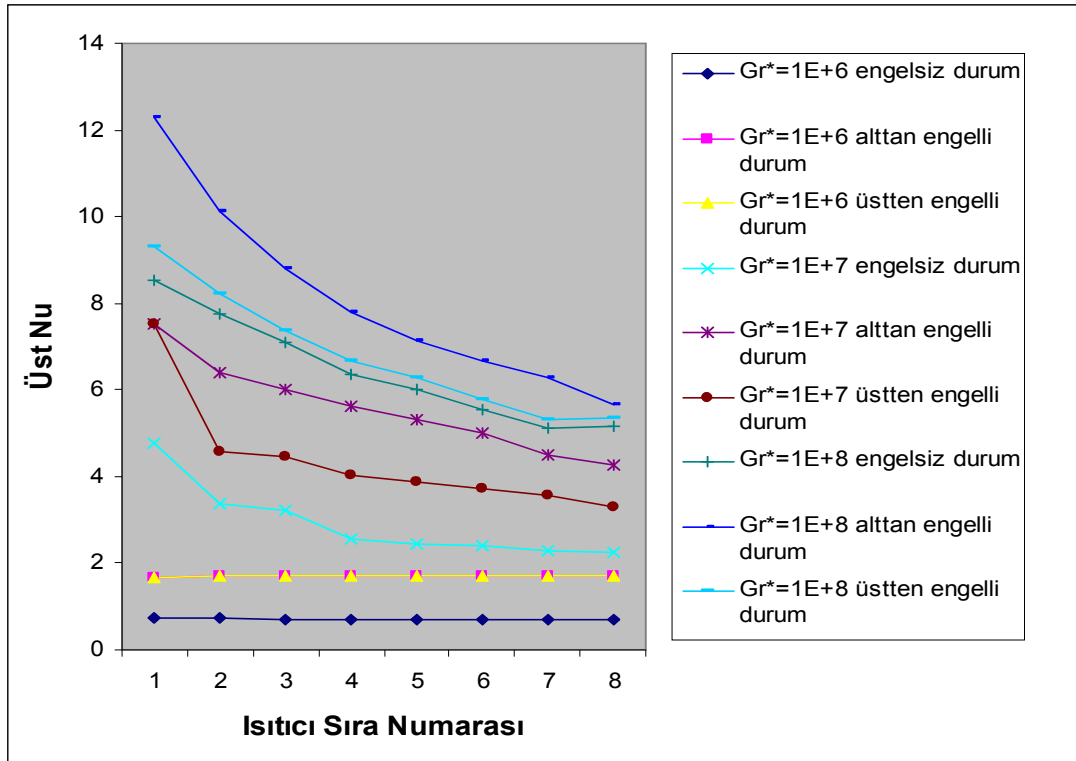
Şekil 4.35.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=550$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Üst Nusselt sayısına etkisi



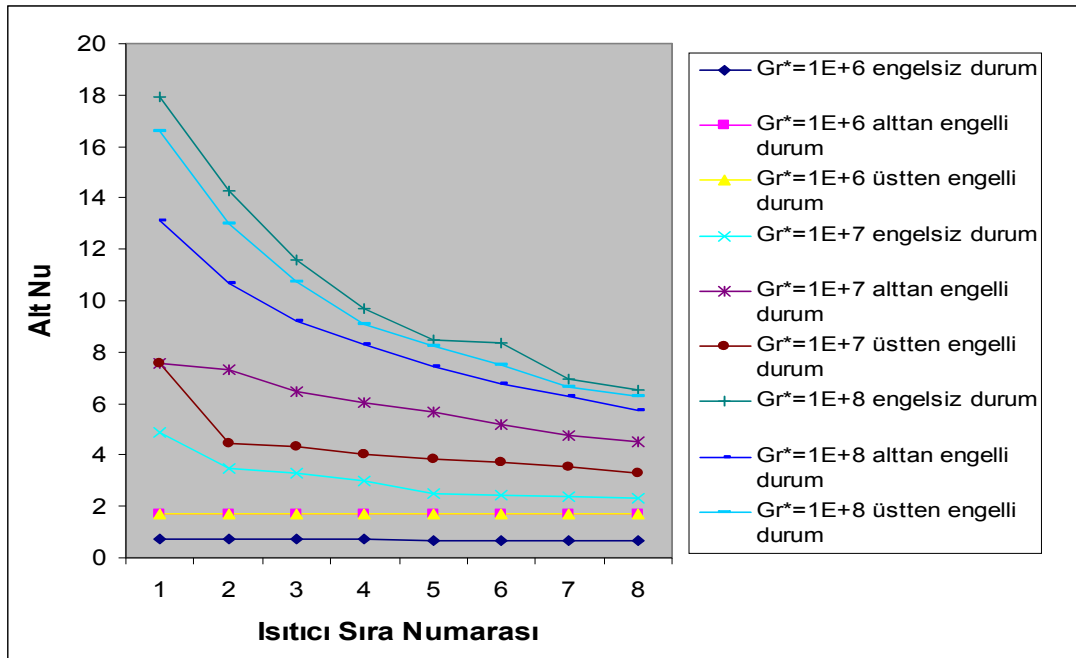
Şekil 4.36.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=550$  de Grashof sayısının sıra ortalama Alt Nusselt sayısına etkisi

Reynolds sayısının 150 olduğu durumda değişik Grashof sayılarında yapılan çalışmada Nusselt sayısının ısıtıcı sırasına göre değişimleri Şekil 4.37 ve Şekil 4.38' de verilmiştir. Şekil 4.37' de Grashof sayısının  $1 \times 10^7$  ve  $1 \times 10^8$  değerlerinde ana akışın etkisiyle kanal boyunca üst Nusselt sayıları azalmaktadır. Grashof sayısının  $1 \times 10^6$  değerinde ısıtıcı sırası boyunca alt Nusselt sayılarında değişiklik olmamaktadır.

Şekil 4.38' de ise engelsiz duruma göre kanal çıkışında alt tarafa konulan plakanın daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

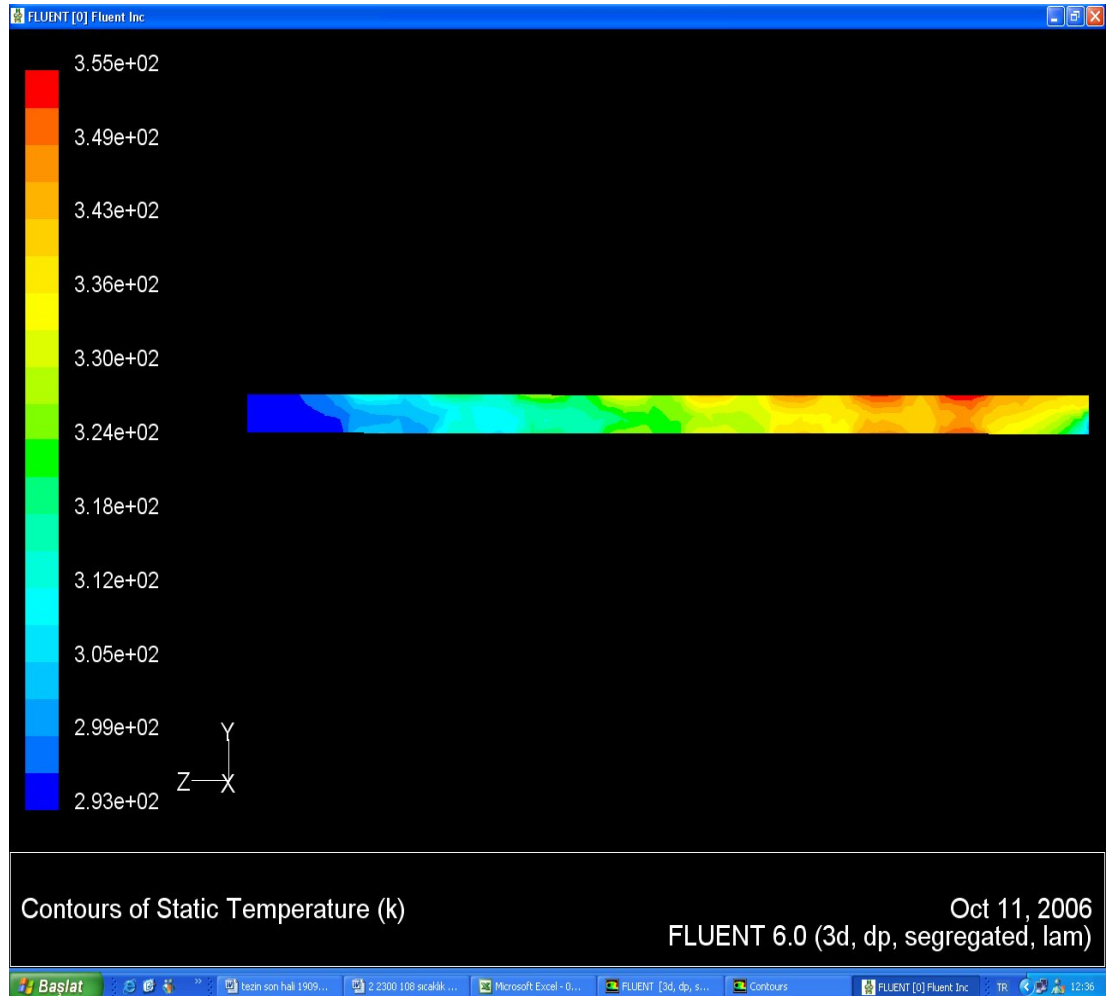


Şekil 4.37.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=150$ ' de Grashof sayısının sıra ortalaması Üst Nusselt sayısına etkisi



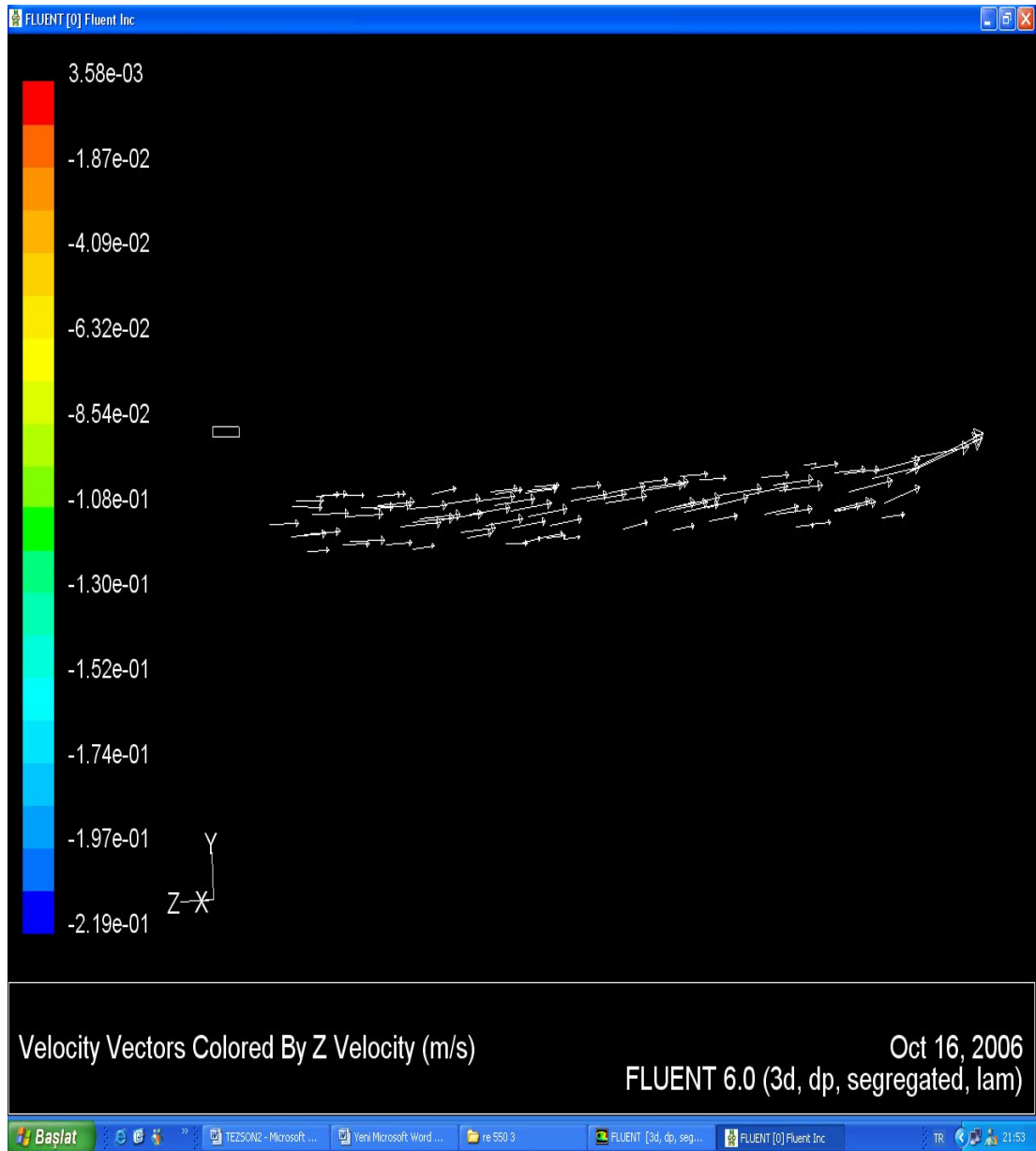
Şekil 4.38.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=150$ ' de Grashof sayısının sıra ortalaması Alt Nusselt sayısına etkisi

Şekil 4.39' da  $W/H=6$  Reynolds sayısı 75 ve Grashof sayısı  $1 \times 10^8$  değeri için kanal boyunca y-z düzleminde sıcaklık kontur grafikleri görülmektedir. Birinci ısıtıcı sırasında fazla bir değişim söz konusu olmamakla beraber ısıtıcı sırası boyunca değişmektedir.



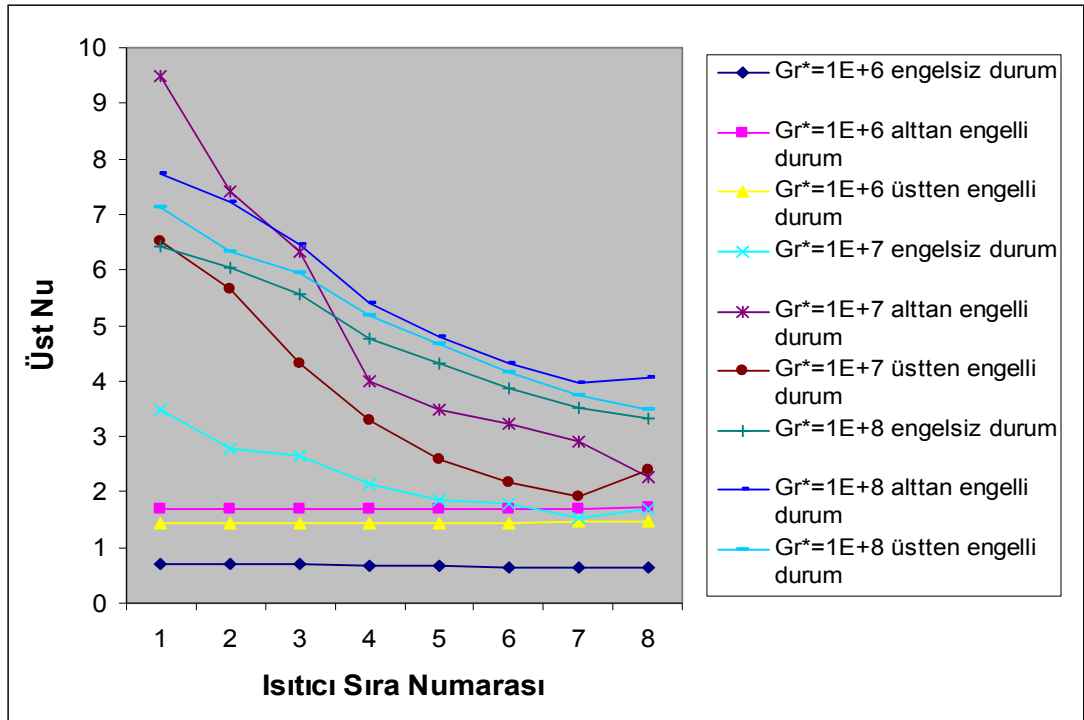
Şekil 4.39.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=75$  ve  $Gr_{Dh}^*=1 \times 10^8$  için y-z düzleminde sıcaklık kontur grafiği

Şekil 4.40' da  $W/H=6$  Reynolds sayısı 75 ve Grashof sayısı  $1 \times 10^8$  değeri için kanal boyunca alt ve üst ısıtıcıların y-z düzleminde vektörel hız profilleri görülmektedir. Girişte üniform olan hız vektörleri ısıtıcıların bulunduğu yerde bozulmaya başlamıştır

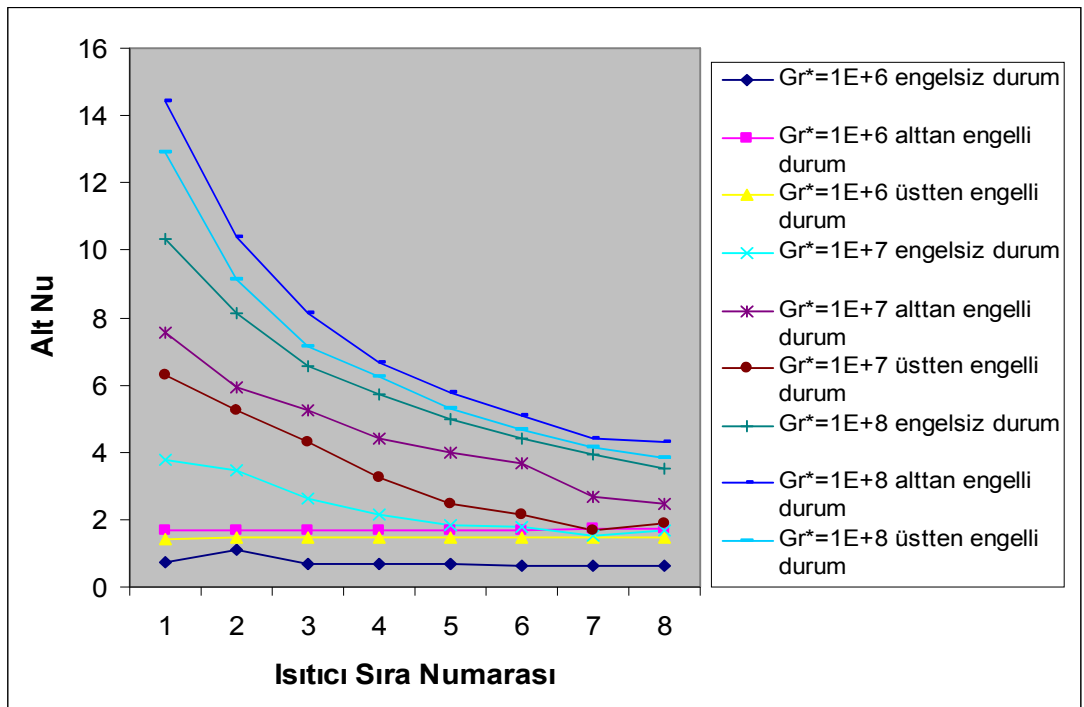


Şekil 4.40.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=75$  ve  $Gr_{Dh}^*=1 \times 10^8$  için y-z düzleminde hız profilleri

Şekil 4.41 ve Şekil 4.42' de  $W/H=6$ , Reynolds sayısı 75 olduğu durumda değişik Grashof sayılarında kanalın alt ve üst kısmında bulunan ısıtıcıların, ısıtıcı ortalama Nusselt sayılarının kanal boyunca ısıtıcı sırasına göre değişimi verilmiştir.



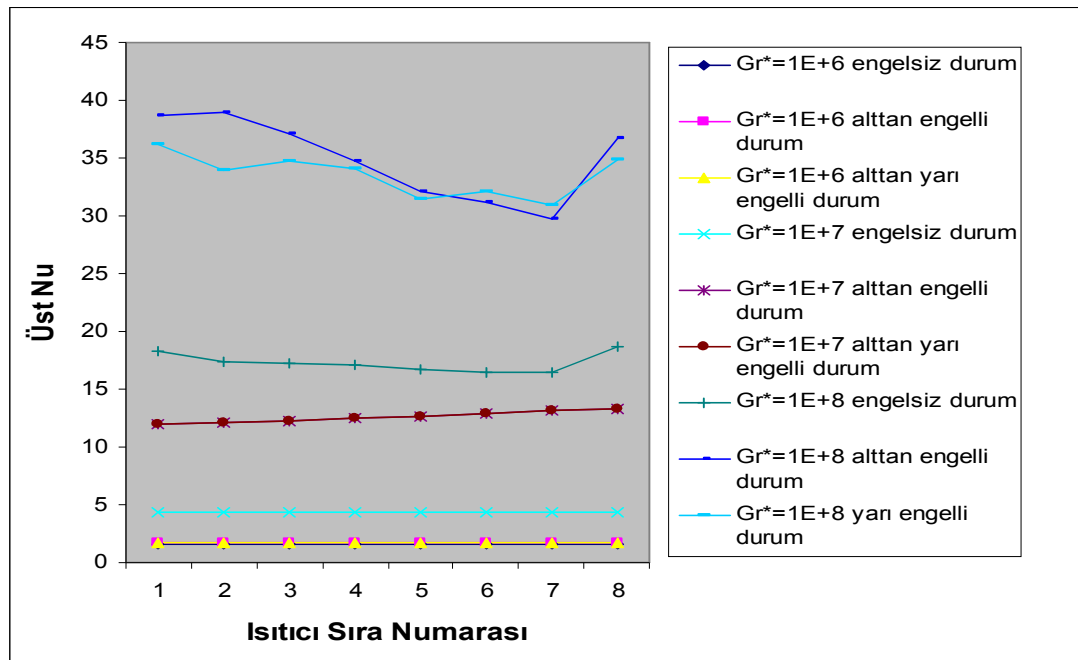
Şekil 4.41.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=75$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Üst Nusselt sayısına etkisi



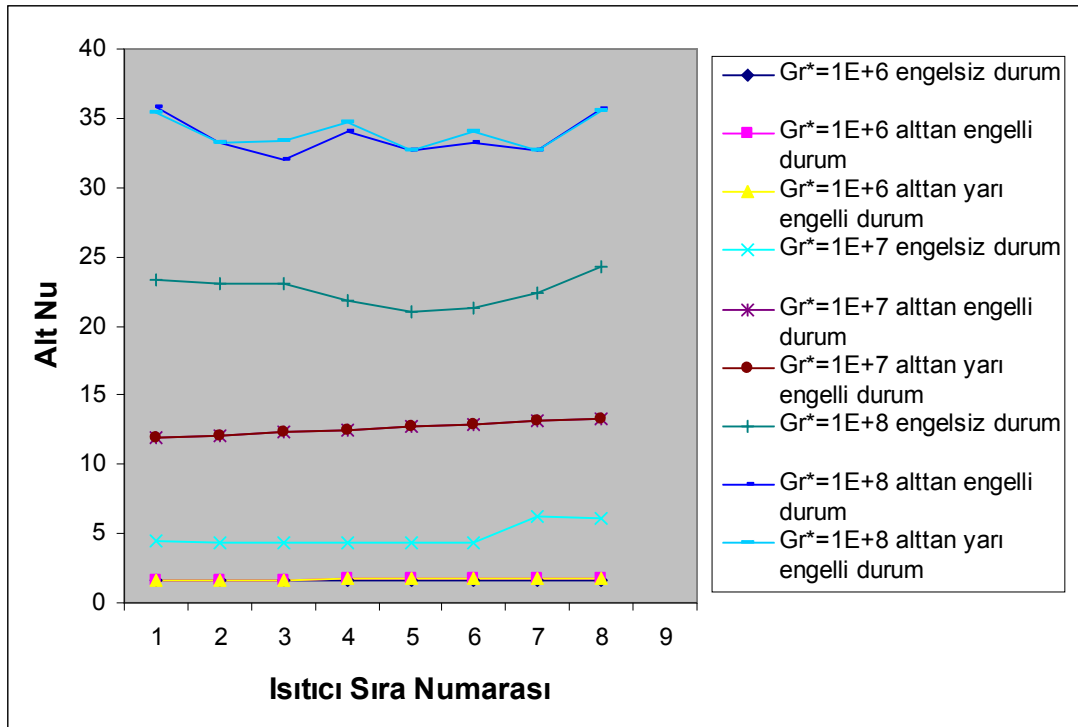
Şekil 4.42.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=75$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Alt Nusselt sayısına etkisi

Şekil 4.43’de  $W/H=6$ , Reynolds sayısı 2300 olduğu değer için değişik Grashof sayıları için yapılan çalışmada engelsiz durum, plakanın kanal çıkışında alt tarafa konulması ile yarı plakanın kanal çıkışında alt tarafa konulması durumları için üst Nusselt sayılarının ısıtıcı sırasına göre değişimleri verilmiştir. Grashof sayılarının  $1 \times 10^6$  ile  $1 \times 10^7$  durumları için kanal çıkışına konulan plakanın ve kanal çıkışına konulan yarı plakanın konulması durumunda üst Nusselt sayıları arasında fark bulunmamaktadır. Grashof sayısının  $1 \times 10^8$  değerinde ise kanal çıkışına konulan plakanın alt tarafa konulması durumunu, engelsiz duruma göre kıyaslandığında üst Nusselt sayısı arasındaki fark yarı engelin alt tarafa konulması durumuna göre çok daha fazladır.

Şekil 4.44’ te Reynolds sayısının 2300 olduğu değerde değişik Grashof sayıları için yapılan çalışmada Grashof sayısının  $1 \times 10^6$  ve  $1 \times 10^7$  durumlarında kanal çıkışına konulan plakanın boyutunun değişmesi arasında fark gözükmemektedir. Grashof sayısının  $1 \times 10^8$  değerinde kanal çıkışına konulan plakanın yarı plakaya göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

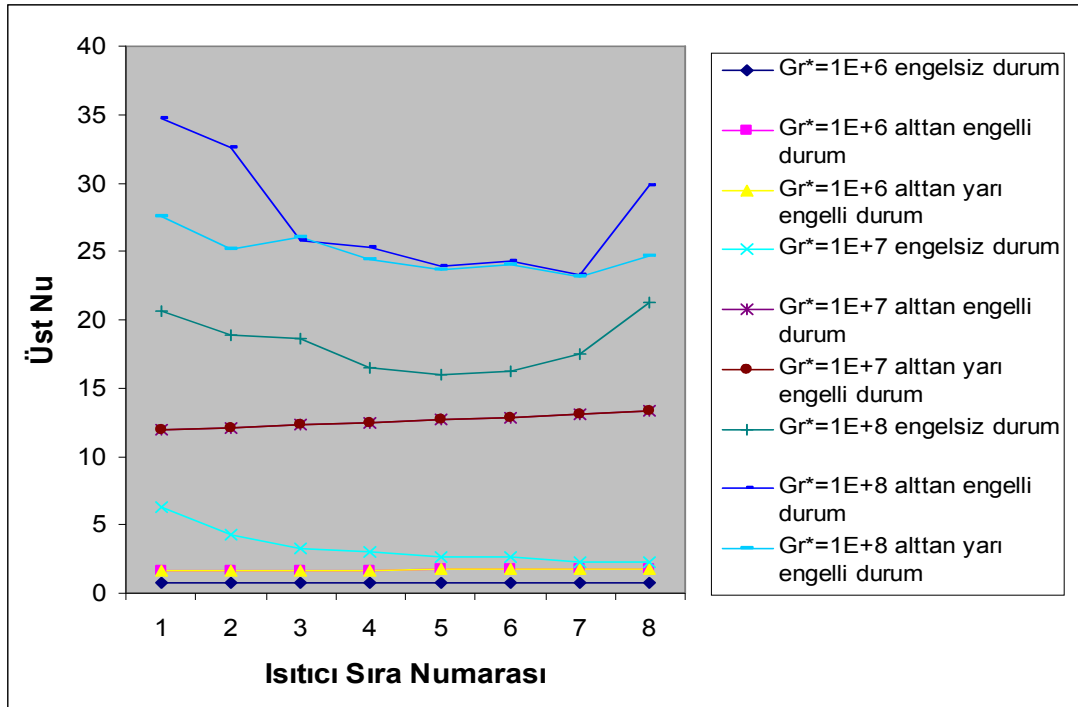


Şekil 4.43.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=2300$ ’ de Grashof sayısının sıra ortalama Üst Nusselt sayısına etkisi

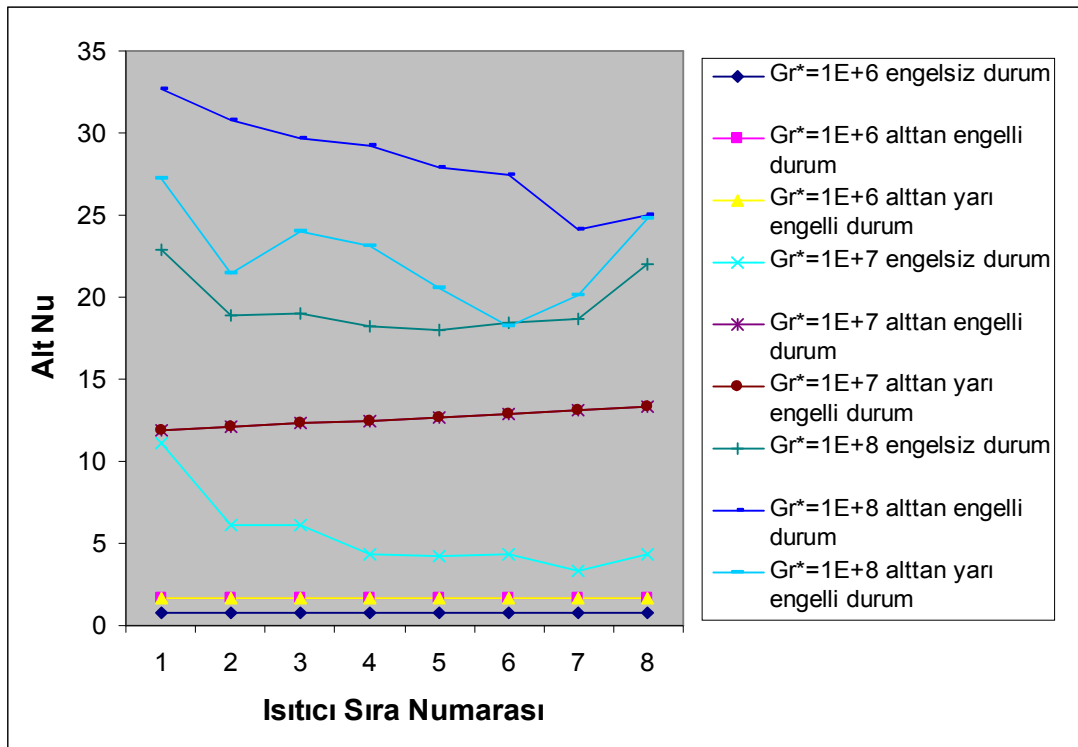


Şekil 4.44.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=2300$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Alt Nusselt sayısına etkisi

Şekil 4.45 ve Şekil 4.46'da  $W/H=6$ , Reynolds sayısı 1750 olduğu değer için değişik Grashof sayıları için yapılan çalışmada engelsiz durum, plakanın kanal çıkışında alt tarafa konulması ile yarı plakanın kanal çıkışında alt tarafa konulması durumları için, alt ve üst Nusselt sayılarının ısıtıcı sırasına göre değişimleri verilmiştir. Grashof sayısının  $1 \times 10^6$  ile  $1 \times 10^7$  durumlarında, kanal çıkışına konulan plaka ile yarı plaka olması durumlarında Nusselt sayıları arasında fark bulunmamaktadır. Grashof sayısının  $1 \times 10^8$  durumunda üst Nusselt sayısı ilk sırada en yüksek değerini almış 3. sıraya kadar belirgin bir azalma gösterirken 4. sıradan itibaren Nusselt sayısındaki azalma yavaşlamış ve son sırada ikincil akışın etkisiyle Nusselt sayısı artmıştır.



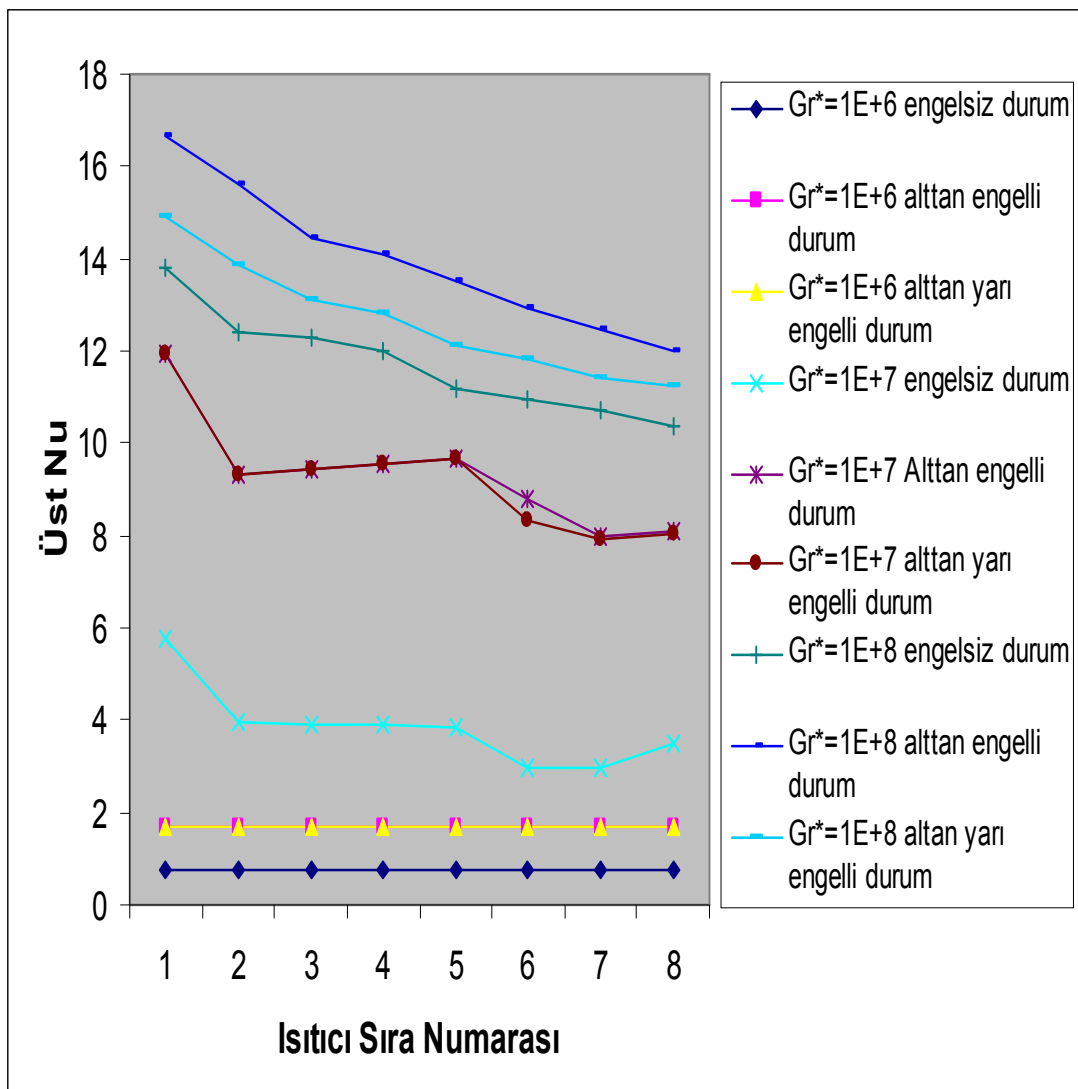
Şekil 4.45.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=1750$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Üst Nusselt sayısına etkisi



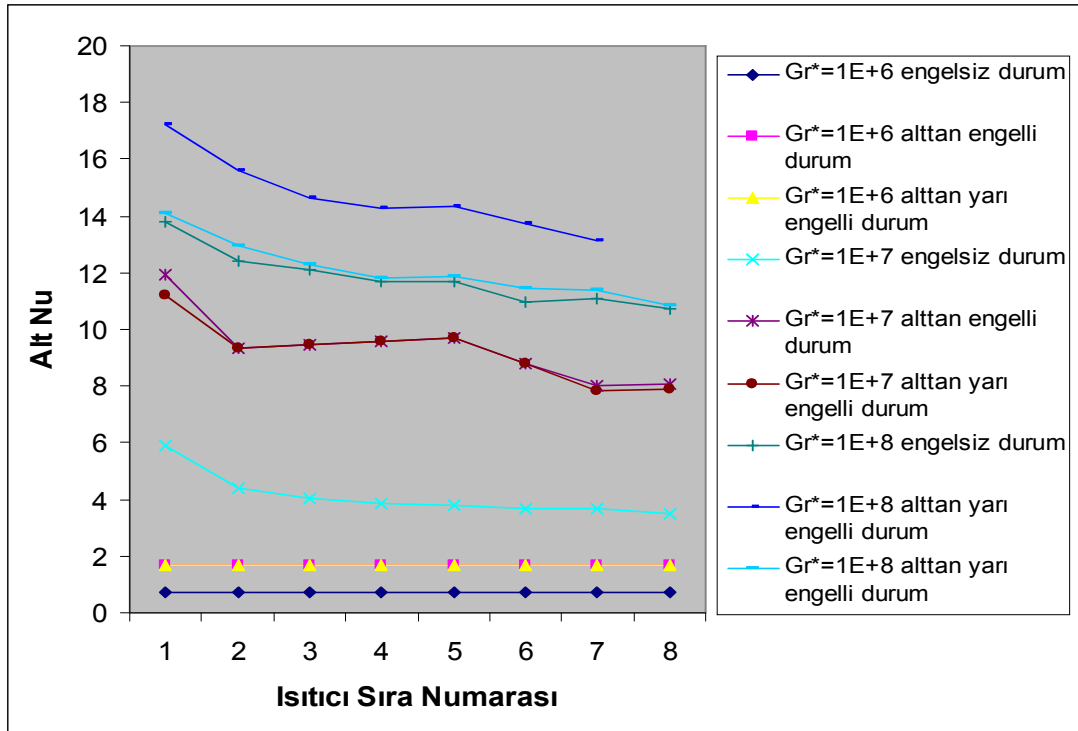
Şekil 4.46.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=1750$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Alt Nusselt sayısına etkisi

Şekil 4.47' de  $W/H=6$ , Reynolds sayısı 550 değerinde çeşitli Grashof sayılarında kanalın üst yüzeyindeki Nusselt sayılarının değişimi verilmektedir. Yüksek Grashof sayılarında engelsiz duruma göre kanalın çıkışına yerleştirilen plakanın yarı plakaya göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Şekil 4.48' de ise Grashof sayısının  $1 \times 10^7$  durumunda ilk ısıtıcı sırasında yüksek olan Nusselt sayısı 2, 3, 4 ve 5. sırada azalma yavaşlamış 6. sıradan sonradan Nusselt sayısı tekrar azalmıştır.



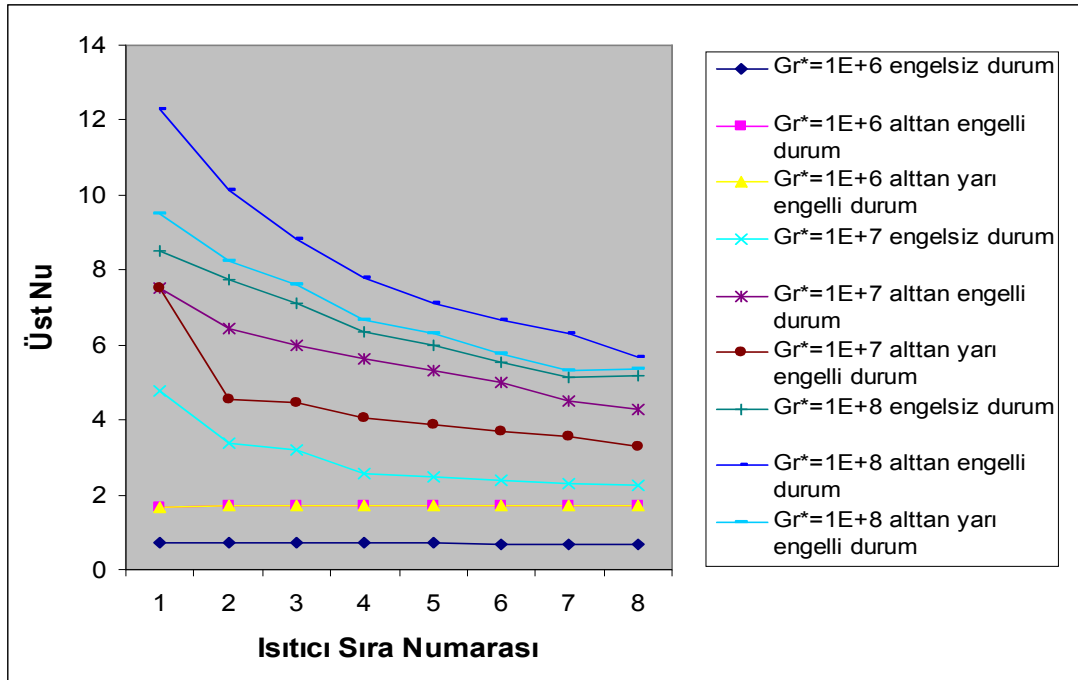
Şekil 4.47.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=550$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Üst Nusselt sayısına etkisi



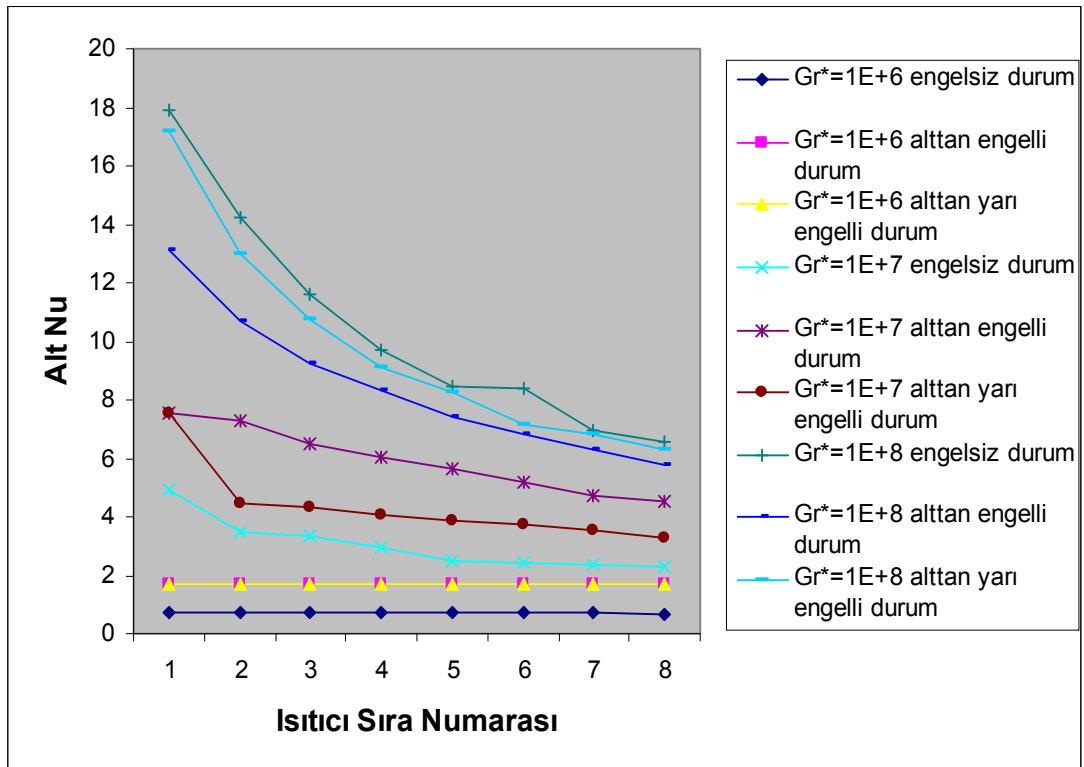
Şekil 4.48.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=550$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Alt Nusselt sayısına etkisi

Şekil 4.49 ve Şekil 4.50'de  $W/H=6$ , Reynolds sayısı 150 olduğu değer için değişik Grashof sayıları için yapılan çalışmada engelsiz durum, plakanın kanal çıkışında alt tarafa konulması ile yarı plakanın kanal çıkışında alt tarafa konulması durumları için, alt ve üst Nusselt sayılarının ısıtıcı sırasına göre değişimleri verilmiştir. Bütün Grashof sayıları durumlarında, kanal çıkışına konulan plakanın Nusselt sayıları, yarı plaka olması ve engelsiz duruma göre daha iyi sonuç vermektedir. Kanal girişinde yüksek olan Nusselt sayısı kanal boyunca azalmaktadır.

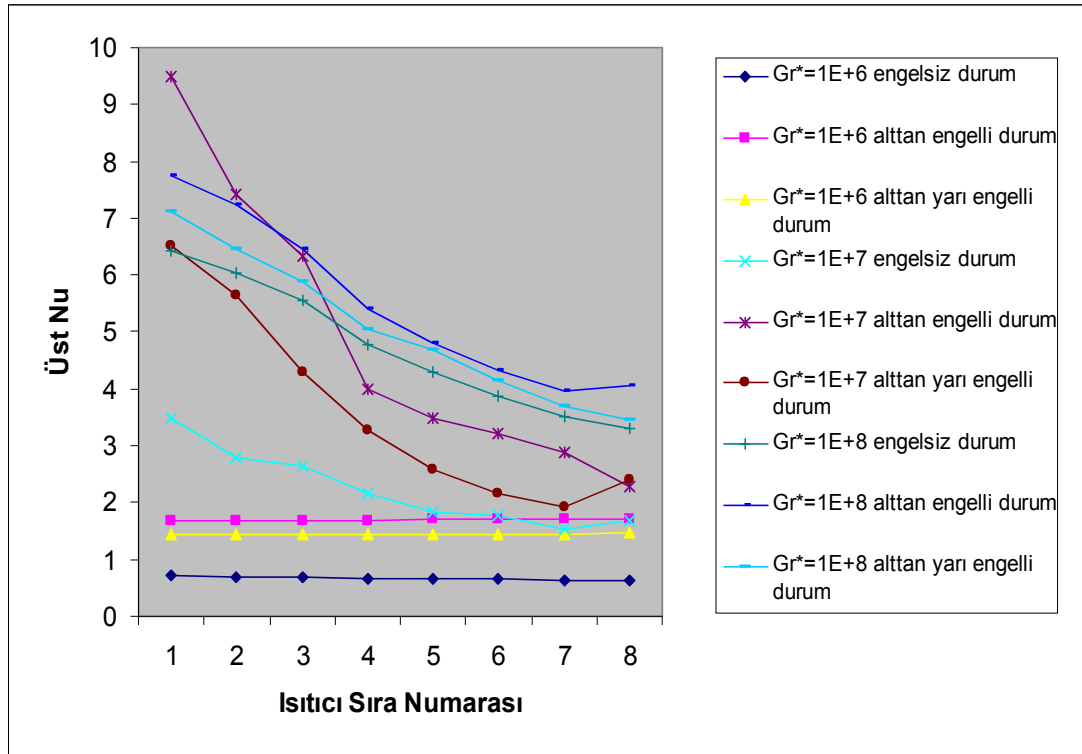
Şekil 4.51 ve Şekil 4.52'de  $W/H=6$ , Reynolds sayısı 75 olduğu değer için değişik Grashof sayıları için yapılan çalışmada engelsiz durum, plakanın kanal çıkışında alt tarafa konulması ile yarı plakanın kanal çıkışında alt tarafa konulması durumları için, alt ve üst Nusselt sayılarının ısıtıcı sırasına göre değişimleri verilmiştir. Bütün Grashof sayıları durumlarında, kanal çıkışına konulan plakanın Nusselt sayıları, yarı plaka olması ve engelsiz duruma göre daha iyi sonuç vermektedir. Kanal girişinde yüksek olan Nusselt sayısı kanal boyunca azalmaktadır. Son ısıtıcı sırasında ikincil akışın etkisiyle Nusselt sayısı artmıştır.



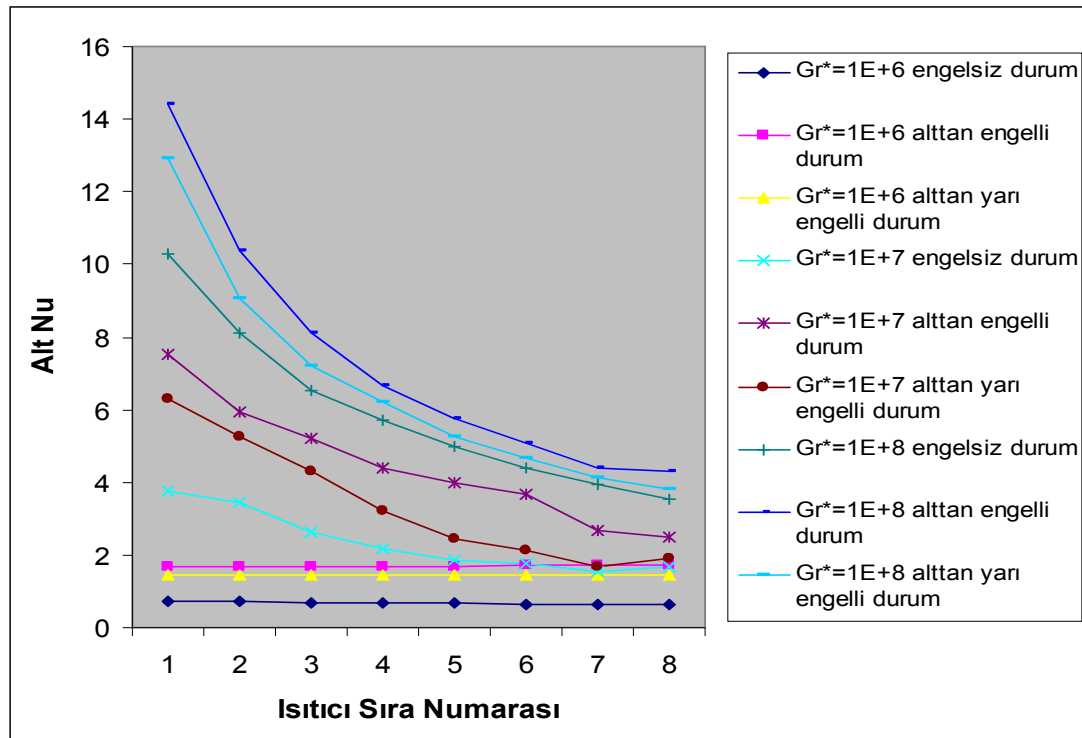
Şekil 4.49.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=150$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Üst Nusselt sayısına etkisi



Şekil 4.50.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=150$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Alt Nusselt sayısına etkisi



Şekil 4.51.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=75$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Üst Nusselt sayısına etkisi



Şekil 4.52.  $W/H=6$ ,  $Re_{Dh}=75$ ' de Grashof sayısının sıra ortalama Alt Nusselt sayısına etkisi

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada alt ve üstten ayırık ısı kaynakları ile ısıtılan dikdörtgen kesitli bir kanalda ana akıma karşı yerleştirilen plakanın karışık konveksiyon ile ısı transferine etkisi incelenmiştir. Burada sonuçların değerlendirilmesi yapılmış ileride yapılacak olan çalışmalara yardımcı olmak amacıyla önerilerde bulunulmuştur.

Belli bir Reynolds sayısında Grashof sayısının artırılması sonucu Nusselt sayısının arttığı ve daha düşük Grashof sayılarında Nusselt sayısı değerlerinin düşük olduğu görülmektedir.

Belli bir Reynolds sayısında değişik Grashof sayıları ile yapılan çalışmalarda kanal çıkışına konulan plakanın engelsiz duruma göre Nusselt sayıları daha yüksek çıkmaktadır.

Belli bir Reynolds sayısında değişik Grashof sayıları için yapılan çalışmalarda kanal çıkışında alt tarafa konulan plaka, kanal çıkışında üst tarafa konulan plaka ve engelsiz durumları karşılaştırıldığında, plakanın alt tarafa konulması sonucunda en yüksek Nusselt sayısı değerlerinin elde edilebileceği görülmektedir.

Belirli Reynolds sayılarında değişik Grashof sayıları için yapılan çalışmalarda kanal çıkışında alt tarafa konulan yüksek plaka, kanal çıkışında alt tarafa konulan alçak plaka ve engelsiz durumlarında, kanal çıkışında alt tarafa konulan yüksek plaka sonucunda en yüksek Nusselt sayısı değerlerinin elde edilebileceği görülmektedir.

Bu çalışma ile çok yüksek Grashof sayıları ( $Gr_{Dh}^* \geq 1 \times 10^9$ ) hariç bütün Reynolds sayılarında engelsiz durum kanalın alt ve üst kısmında bulunan elemanların çok daha fazla ısındığı, kanal çıkışına konulan plaka sayesinde kanalın alt ve üst kısmında bulunan elemanların sıcaklığının azaldığı görülmüştür. Bu nedenle, yatay dikdörtgen kesitli kanalın alt ve üst tarafına yerleştirilen ısı kaynaklarından dolayı ortaya çıkan karışık konveksiyonun, çıkışta akıma karşı konulan engellerden önemli ölçüde

etkilendiği, kaynak sıcaklıklarının kontrolunda önemli rol oynayabilecekleri ve optimum engel geometri ve yerleşimlerinin bulunması için daha detaylı çalışmaların yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılarak ileride yapılacak çalışmalar için şu öneriler yapılmıştır.

Kanal üzerinde bulunan ayrık ısı kaynaklarına alt ve üst yüzey olarak farklı ısı akıları uygulanarak ısı transferine etkisi incelenebilir.

Kanal içerisinde farklı geometride, farklı yerleşim düzeninde ve farklı boyutlara sahip ısı kaynakları yerleştirilerek engellerin ısı transferine etkisi incelenebilir.

Kanal çıkışında ana akıma karşı konulan plakanın farklı bir yere konulması ile oluşan ısı transferi incelenebilir.

## KAYNAKLAR

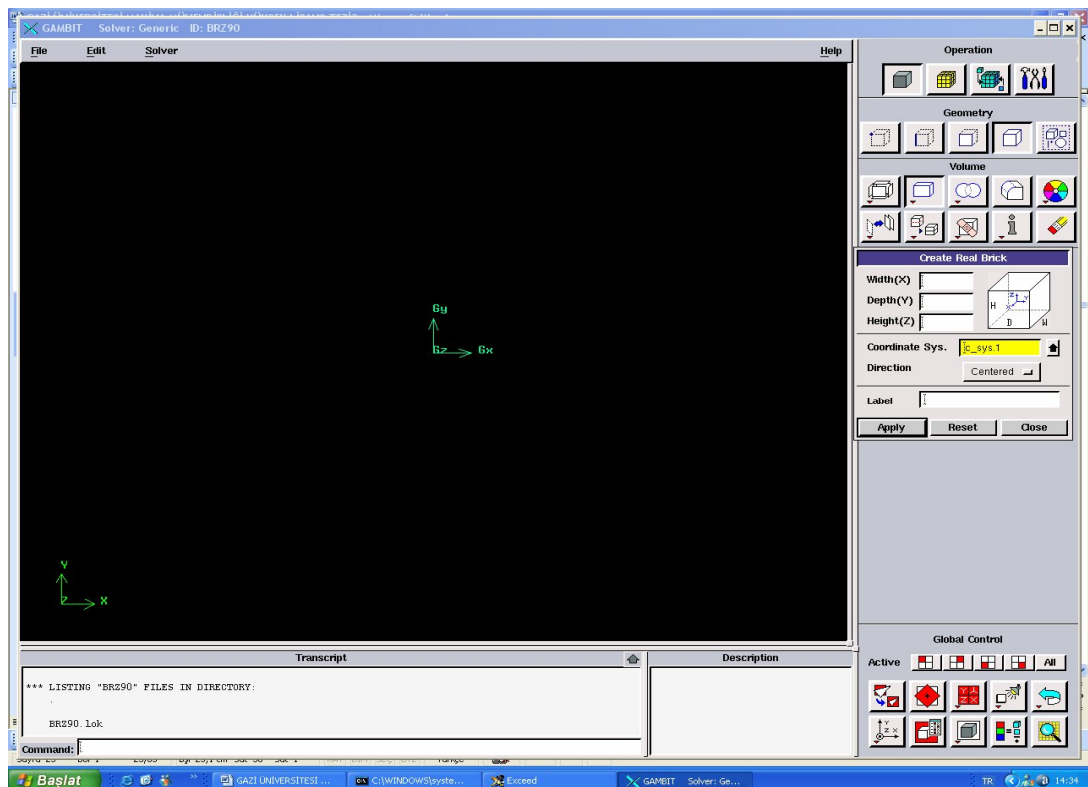
1. Maughan j. R, Incropera, F.P., “Experiments on Mixed convection Heat Transfer for Airflow in a Horizontal and Inclined Channel” *Int. J. Heat Mass Transfer*, 30:1307-1318 (1987).
2. Incropera ,F.P., and, Schutt, J.A., “Numerical Simulation of Laminar Mixed convection In The Entrance Region of Horizontal Rectangular Ducts”, *Numerical Heat Transfer*, 8:707-729 (1985).
3. Kennedy, K.J., and Zebib, A., “Combined Free and Forced Convection Between Horizontal Parallel Planes: Some Case Studies ”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 26: 471-474 (1983).
4. Mahaney ,H.V., Incropera, F.P., and Ramadhyani, S., “Comparison of Predicted and Measured Mixed Convection Heat Transfer from an Array of Discrete Heat Sources in Horizontal Rectangular Channel”, *J. Of Heat Transfer*, 33:1233-1245 (1990).
5. Hwang, C.C., and Lin, T.F.,“Vortex Flow and Thermal Charecterictics in Mized convection of Air in a Horizontal Rectangular Duct: Effects of the Reynolds and Grashof Numbers”, *Int.J. Heat Mass Transfer*,38:1661-1674 (1995).
6. Tou, S. K. W., Tso, X., Zhang, X., 3-D “Numerical Analysis of Natural Convective Liquid Cooling of a 3\*3 Heater array In Rectangular enclosures “, *Int. J. Heat Mass Transfer* , 42:3231-3244 (1999).
7. Marcos, S.M., Hilal, M.M., Kamel, M.M., and Soliman, M.S., “Experimental Investigation of mixed Laminar Convection in the Entrance Region of Inclined Rectangular Channels ”, *J. Of Heat Transfer*, 108:574-579 (1986).
8. U, Narusawa ., “ Numerical Analysis of Mixed Convection at the Entrance region of a Rectangular Ducts Heated From Below “, *Int. J. Heat Mass Transfer* 36(9): 2375-2384, (1993).
9. Maughan, J.R., and Incropera, F.P., “Secondary Flow in horizontal Channels Heated From Below ”, *Experiments in Fluids, in Review* ,30(7):1204-1216 (1986).
10. Maughan, J.R., and Incropera, F.P., “Experiments on Mixed Convection Heat Transfer for Air Flow in a Horizontal and Inclined Channel”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 30(7):1307-1318 (1987).
11. Yücel, N., Türkoğlu, H., “Natural Convection In an Open Cavity With a Discrete Heat Source on a Vertical Wall”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 20(1-2):1-7 (1999).

12. Tso, C.P., Xu, G.P., and Tou, K.W., “An Experimental Study on Forced Convection Heat Transfer from Flush-Mounted Discrete Heat Sources”, *J. Of Heat Transfer*, 121: 326-332 (1999).
13. Gururaja, C., Balaji, C., Venkateshan , S.P., “Conjugate Mixed Convection With Surface Radiation from a Vertical Plate With a Discrete Heat Source”, *J. of Heat Transfer*, 123:698-702 (2001).
14. Choi, C.Y., Kim, S.J., “Conjugate Mixed Convection in a Channel: Modified Five Percent Deviation Rule” *Int. J. Heat Mass Transfer*, 39:1223-1234 (1996).
15. Özsunar, A., Başkaya, Ş., Sivrioğlu, M., “Numerical Analysis of Grashof Number and Reynolds Number and Inclination Effects on Mixed Convection Heat Transfer in Rectangular Channels”, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 28:985-994 (2001).
16. Osborne, D.G., and Incropera, F.P., “Laminar Mixed Convection Heat Transfer for Flow Between Horizontal Parallel Plates With Asymmetric Heating” *Int. J. Heat Mass Transfer*, 28(1):207-217 (1985).
17. Cheng, K.C., Hong, S.W., and Hwang, G.J., “Buoyancy Effects of Laminar Heat Transfer in the Thermal Entrance Region of Horizontal Rectangular Channels With Uniform Wall Heat Flux for Large Prandtl Number Fluid”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 15:1819-1936 (1972).
18. Papanicolaou, E., Jaluria, Y., “Mixed Convection from Simulated Electronic Components at Varying Relative Positions in a Cavity”, *J. of Heat Transfer*, 116:960-1001 (1994).
19. Doğan, A., “Alt Ve Üst Yüzeylerine Ayrık Isıtıcılar Yerleştirilmiş Dikdörtgen Kesitli Bir Kanalda Karışık Konveksiyonla Isı Transferinin İncelenmesi ”, Doktora Tezi, G.Ü.M.M.F. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 172 (2003).

**EKLER**

## EK-1 Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent’ de Çözülmesi

Windows XP Professional 2002 kurulu bilgisayarda “başlat”, “ çalıştır” ikonları kullanarak açılan çalıştır penceresinde open karşısına gambit yazarak gambit programını çalıştırılır. Ekran aşağıdaki şekilde hali alır.



Şekil 1.1. Gambit’in açılması

Gambit çalıştığında default\_id dbs. İsminde bir dosya açar. Bu dosya ilk açılışta boştur, ikinci açılışta daha önce modelleme yapıldı ve save edildi ise, gambit bu save işleminde default\_id. Dbs isimli dosyayı save eder, bu nedenle ikinci açılan bu default\_id.dbs isimli dosyadır.

Herhangi bir modelleme yapıldığında default\_id.dbs isimli dosya üzerinde çalışırken save as yapılarak farklı bir isimle de save yapılabilir. Bu durumda ikinci açılan

## EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

default\_id.db5 save edilen son halinde ekrana gelir, aç komutunu kullanarak farklı kaydedilen dosya açılabilir.

Gambit normal yollardan kapatıldığında ikinci defa açılmayabilir. Bu durumda uzantısı lok olan dosyaların aratılıp bulunması ve bu lok uzantılı dosyaların silinmesi gerekmektedir. silme işlemini müteakip gambit açılabilir.

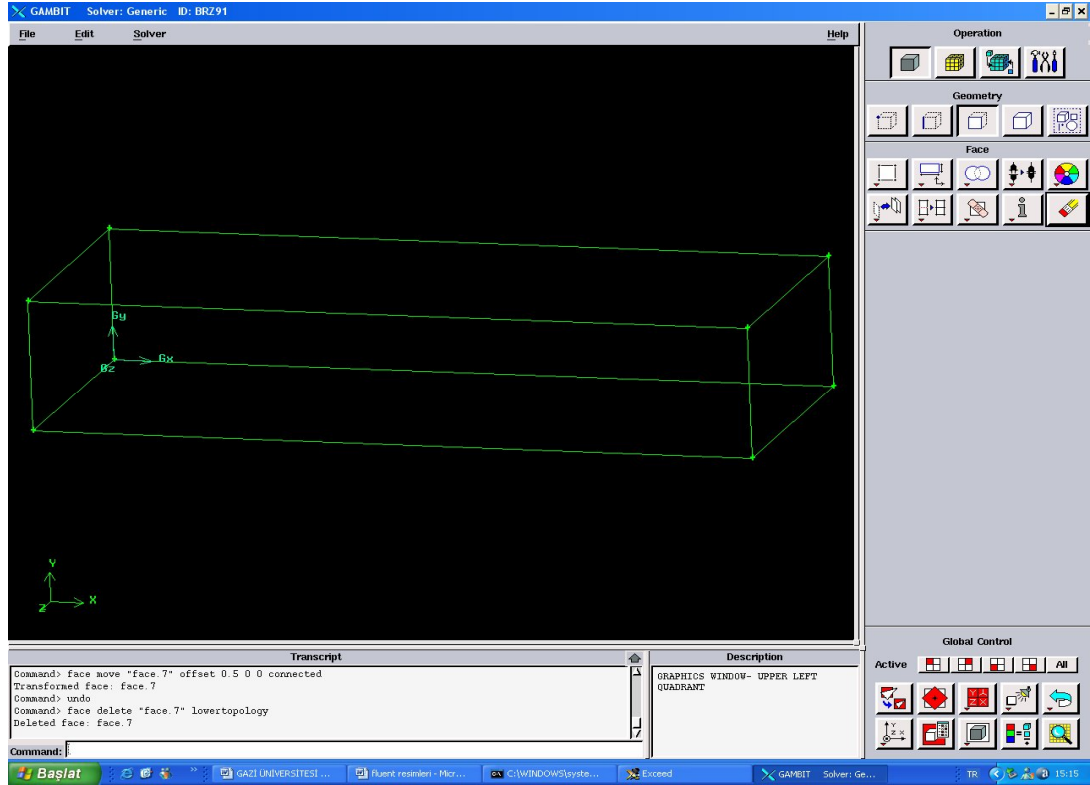
1. CFD hesaplamada kullanılacak CFD modülü aşağıdaki ana menü komutlarını kullanarak seçilir.

Solver → FLUENT 5/6

2. Dikdörtgenler prizması aşağıdaki işlemler yapılarak oluşturulur. Bu işlemleri müteakip ekranda resim Ek-1.2.'daki görüntü oluşur.

- Operation menüsünden geometry menüsüne girilir.
- Volume penceresinden create real brick penceresi açılır.
- Width (X)= 0,5, width (Y)= 0,2, width( Z)= 0,1 değerleri girilir.
- Direction +X+Y+Z seçilir.
- Apply yapılır.

## EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



Şekil 1.2. Dikdörtgenler prizmasının oluşturulması 1

3. +X yönünde dikdörtgenler prizması oluşturulur.

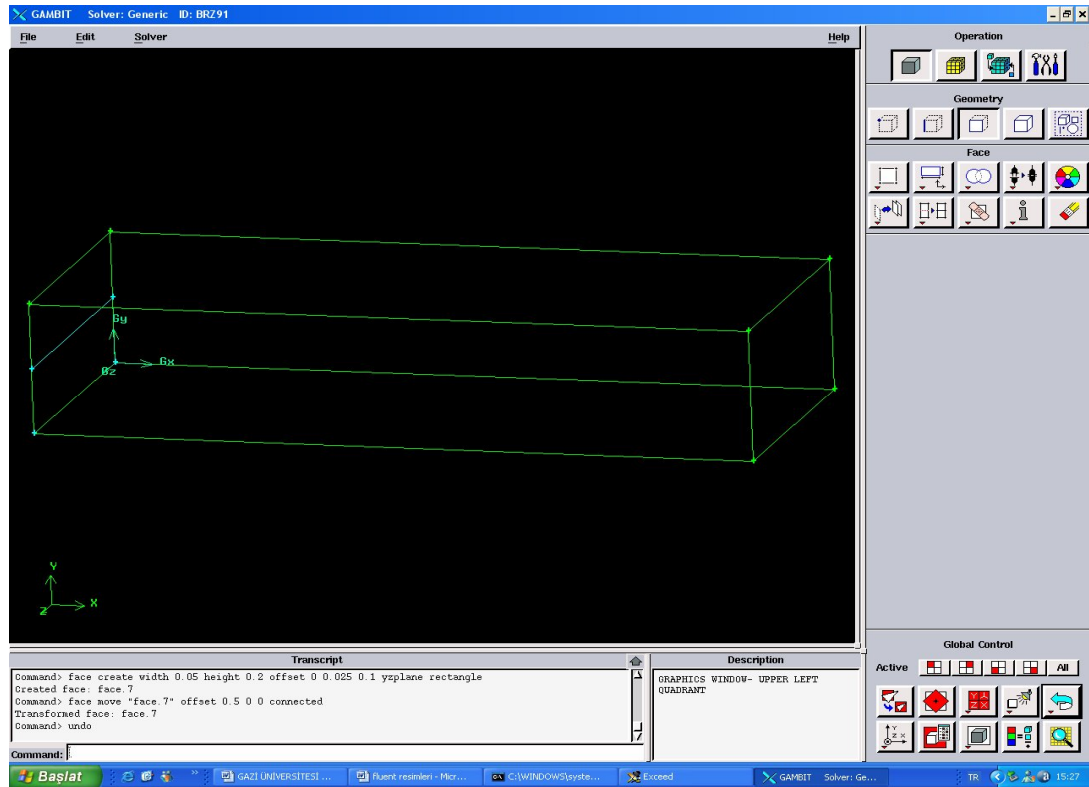
Geometry face create real rectangular face penceresi açılır

- Width =0,025 Height = 0,025
- +Z+X apply yapılır.
- 64 adet ısıtıcı oluncaya kadar apply yapılır.
- Engeli oluşturmak için
- Geometry face create real rectangular face penceresi açılır.
- Width =0,05 Height = 0,1
- +Y+Z apply yapılır.

## EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

### Geometry → Volume → Move/Copy Faces

- Move copy faces penceresi açılır.
- Translate aktif hale getirilir.
- Faces den face 7 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,0625$   $Y= 0$   $Z= 0,0125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.



Şekil 1.3. Dikdörtgenler prizmasının oluşturulması 2

- Faces den face 8 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.

EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- $X=0,1125$   $Y=0$   $Z=0,0125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 9 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,1625$   $Y=0$   $Z=0,0125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 10 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,2125$   $Y=0$   $Z=0,0125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 11 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,2625$   $Y=0$   $Z=0,0125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 12 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,3125$   $Y=0$   $Z=0,0125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 13 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,3625$   $Y=0$   $Z=0,0125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.

EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Apply yapılır.
- Faces den face 14 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,4125$   $Y= 0$   $Z= 0,0125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 15 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,0625$   $Y= 0$   $Z= 0,0625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 16 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,1125$   $Y= 0$   $Z= 0,0625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 17 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,1625$   $Y= 0$   $Z= 0,0625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 18 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,2125$   $Y= 0$   $Z= 0,0625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 19 yüzeyi işaretlenir.

EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,2625$   $Y= 0$   $Z= 0,0625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 20 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,3125$   $Y= 0$   $Z= 0,0625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 21 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,3625$   $Y= 0$   $Z= 0,0625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 22 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,4125$   $Y= 0$   $Z= 0,0625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 23 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,4125$   $Y= 0$   $Z= 0,1125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 24 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,3625$   $Y= 0$   $Z= 0,1125$  değerleri girilir.

## EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 25 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,3125$   $Y=0$   $Z=0,1125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 26 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,2625$   $Y=0$   $Z=0,1125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 27 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,2125$   $Y=0$   $Z=0,1125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 28 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,1625$   $Y=0$   $Z=0,1125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 29 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,1125$   $Y=0$   $Z=0,1125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.

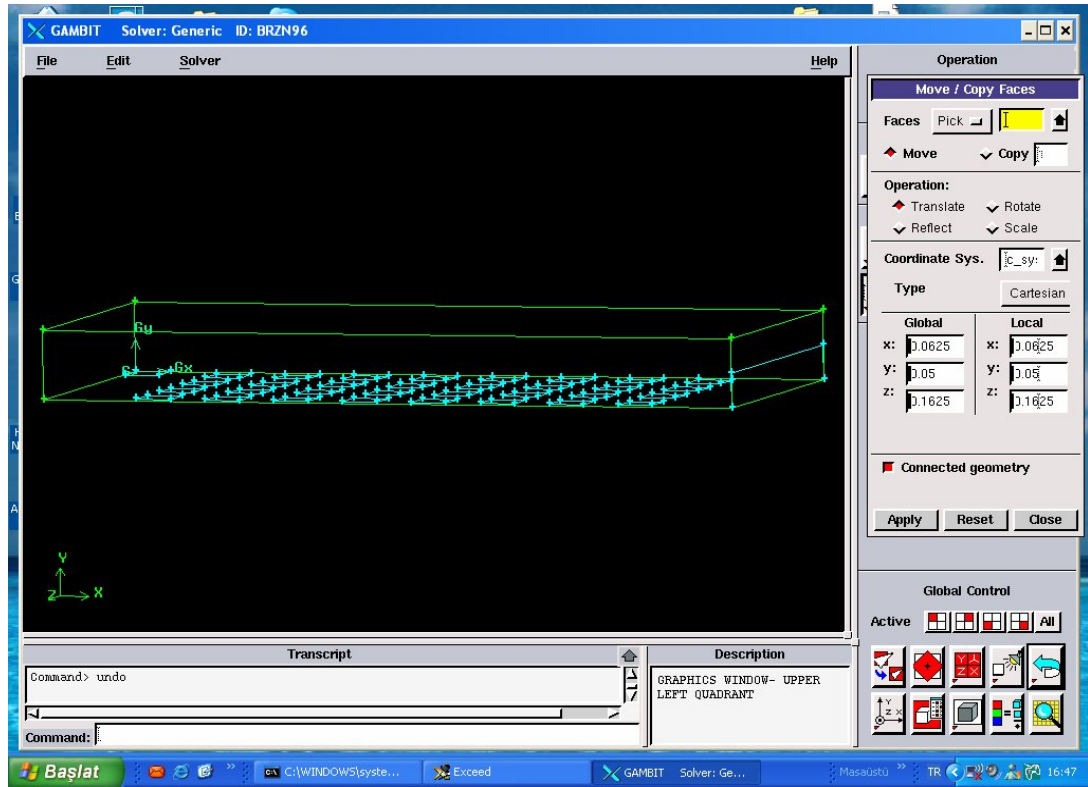
## EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Faces den face 30 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,0625$   $Y= 0$   $Z= 0,1125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 31 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,0625$   $Y= 0$   $Z= 0,1625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 32 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,1125$   $Y= 0$   $Z= 0,1625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 33 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,1625$   $Y= 0$   $Z= 0,1625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 34 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,2125$   $Y= 0$   $Z= 0,1625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 35 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.

EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- $X=0,2625$   $Y=0$   $Z=0,1625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 36 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,3125$   $Y=0$   $Z=0,1625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 37 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,3625$   $Y=0$   $Z=0,1625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 38 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,4125$   $Y=0$   $Z=0,1625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.

## EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



Şekil 1.4. Isıtıcıların Alt Yüzeğe Eklmesi

- Faces den face 39 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,0625$   $Y=0,1$   $Z=0,1625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 40 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,1125$   $Y=0,1$   $Z=0,1625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 41 yüzeyi işaretlenir.

EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,1625$   $Y= 0,1$   $Z= 0,1625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 42 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,2125$   $Y= 0,1$   $Z= 0,1625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 43 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,2625$   $Y= 0,1$   $Z= 0,1625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 44 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,3125$   $Y= 0,1$   $Z= 0,1625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 45 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,3625$   $Y= 0,1$   $Z= 0,1625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 46 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,4125$   $Y= 0,1$   $Z= 0,1625$  değerleri girilir.

EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 47 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,4125$   $Y= 0,1$   $Z= 0,1125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 48 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,3625$   $Y= 0,1$   $Z= 0,1125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 49 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,3125$   $Y= 0,1$   $Z= 0,1125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 50 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,2625$   $Y= 0,1$   $Z= 0,1125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 51 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,2125$   $Y= 0,1$   $Z= 0,1125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.

## EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Faces den face 52 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,1625$   $Y= 0,1$   $Z= 0,1125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 53 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,1125$   $Y= 0,1$   $Z= 0,1125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 54 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,0625$   $Y= 0,1$   $Z= 0,1125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 55 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,0625$   $Y= 0,1$   $Z= 0,0625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 56 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,1125$   $Y= 0,1$   $Z= 0,0625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 57 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.

EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- $X=0,1625$   $Y= 0,1$   $Z= 0,0625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 58 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,2125$   $Y= 0,1$   $Z= 0,0625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 59 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,2625$   $Y= 0,1$   $Z= 0,0625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 60 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,3125$   $Y= 0,1$   $Z= 0,0625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 61 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,3625$   $Y= 0,1$   $Z= 0,0625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 62 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,4125$   $Y= 0,1$   $Z= 0,0625$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.

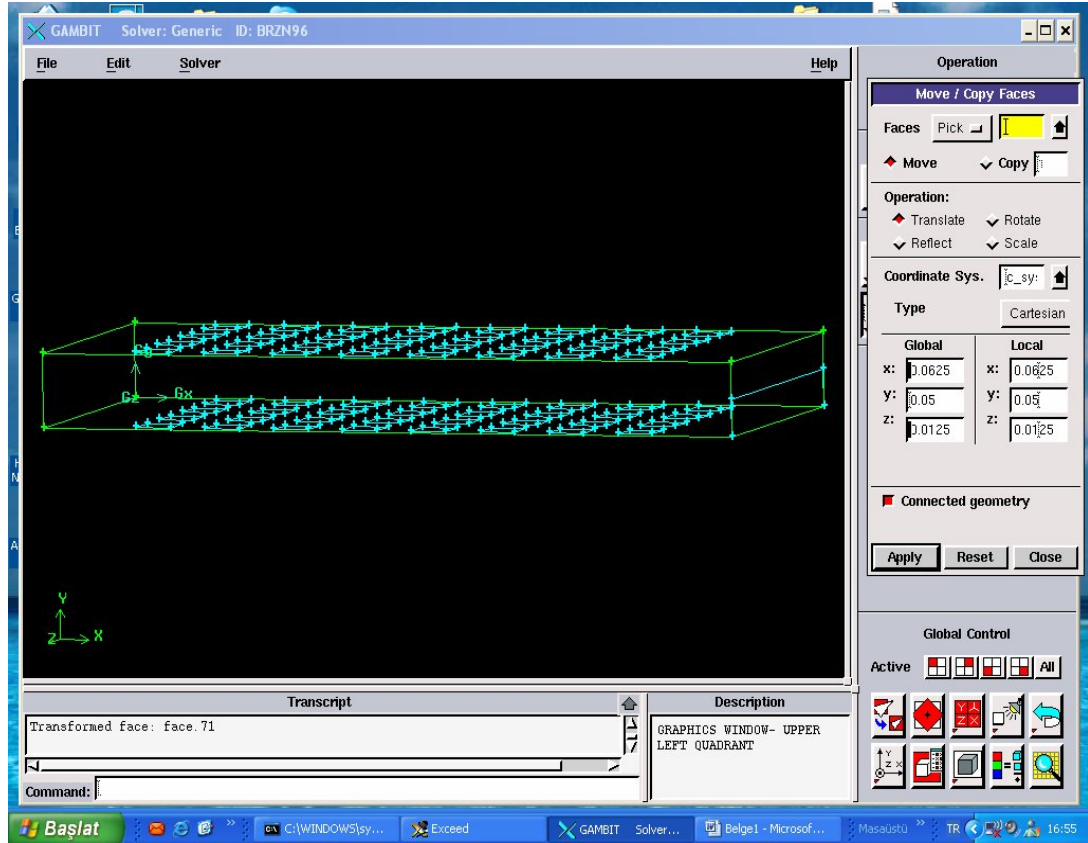
## EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Apply yapılır.
- Faces den face 63 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,4125$   $Y= 0,1$   $Z= 0,0125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 64 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,3625$   $Y= 0,1$   $Z= 0,0125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 65 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,3125$   $Y= 0,1$   $Z= 0,0125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 66 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,2625$   $Y= 0,1$   $Z= 0,0125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 67 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,2125$   $Y= 0,1$   $Z= 0,0125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 68 yüzeyi işaretlenir.

EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,1625$   $Y= 0,1$   $Z= 0,0125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 69 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,1125$   $Y= 0,1$   $Z= 0,0125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Faces den face 70 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,0625$   $Y= 0,1$   $Z= 0,0125$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.

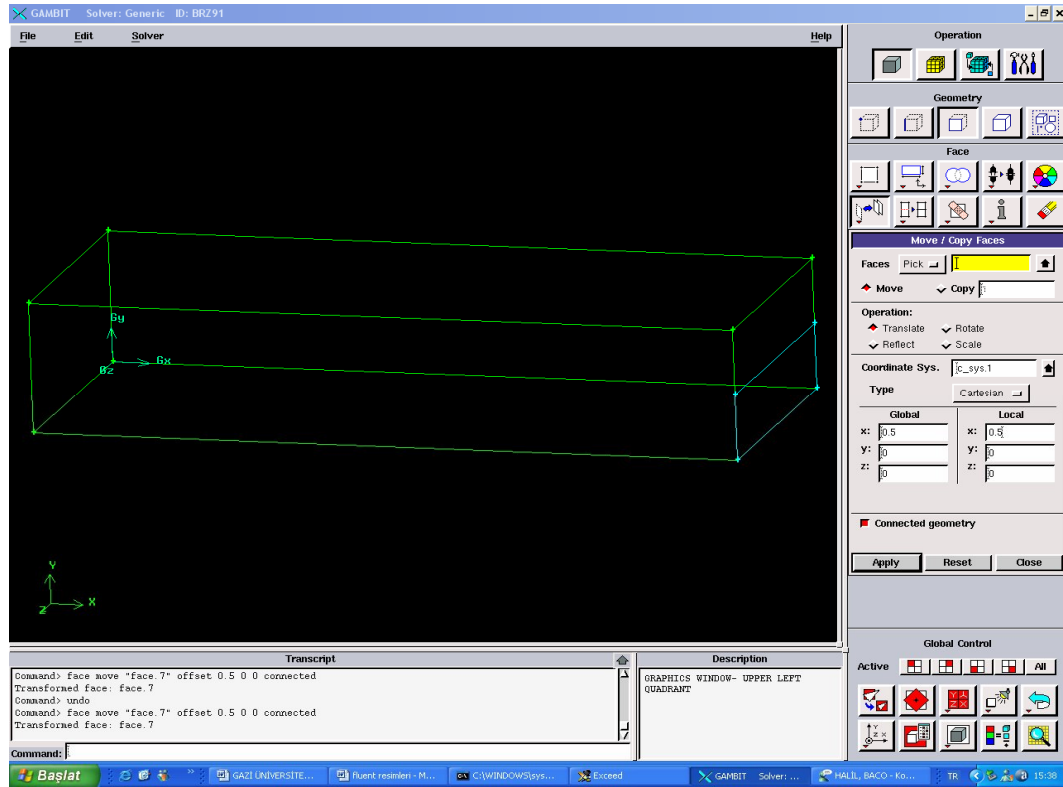
## EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



Şekil 1.5. Isıtıcıların Üst Yüze Eklmesi

- Engel için
- Faces den face 71 yüzeyi işaretlenir.
- Local koordinatlar girilir.
- $X=0,5$   $Y= 0$   $Z= 0$  değerleri girilir.
- Connected geometry aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.

## EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



Şekil 1.6. Kanallın Çıkış Kısımına Engel Oluşturulması

- Isıtıcıların hepsini tek tek ilk oluşturulan dikdörtgenler prizmasına derç etmek gerekmektedir.

### Operation → Geometry → Face → Split Face →

- split face penceresi açılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 7 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.

## EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Uygulanır yapılır.
- Önce derç edilecek yüzey seçilir
- Yüzey listesinden face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 8 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 9 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 10 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların listinden face 11 işaretlenir.
- Aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 12 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.

EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 13 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 14 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 15 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 16 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 17 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 18 işaretlenir.

## EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 19 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 20 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 21 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 22 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 23 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.

EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 24 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 25 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 26 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 27 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 28 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.

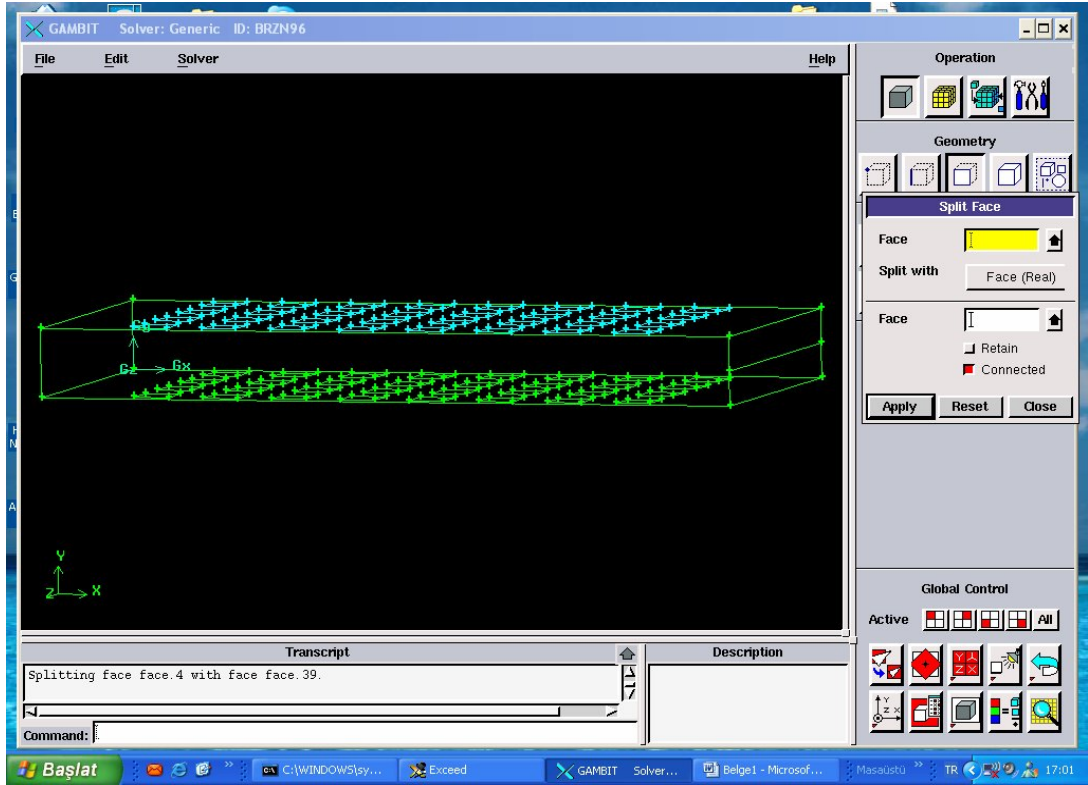
## EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Isıtıcıların face listinden face 29 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 30 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 31 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 32 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 33 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 34 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.

EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 35 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 36 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 37 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 4 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 38 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.

## EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



Şekil 1.7. Isıtıcıların Kanal Alt Yüzeyine Derç Edilmesi

- Önce edilecek seçilir.
- list ten 2 seçilir.
- Isıtıcıların listinden 39 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Yapılır.
- Önce edilecek seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 40 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.

EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 41 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 42 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 43 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 44 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 45 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 46 işaretlenir.

EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 47 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 48 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 49 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 50 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 51 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.

EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 52 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 53 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 54 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 55 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 56 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.

## EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Isıtıcıların face listinden face 57 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 58 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 59 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 60 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 61 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 62 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.

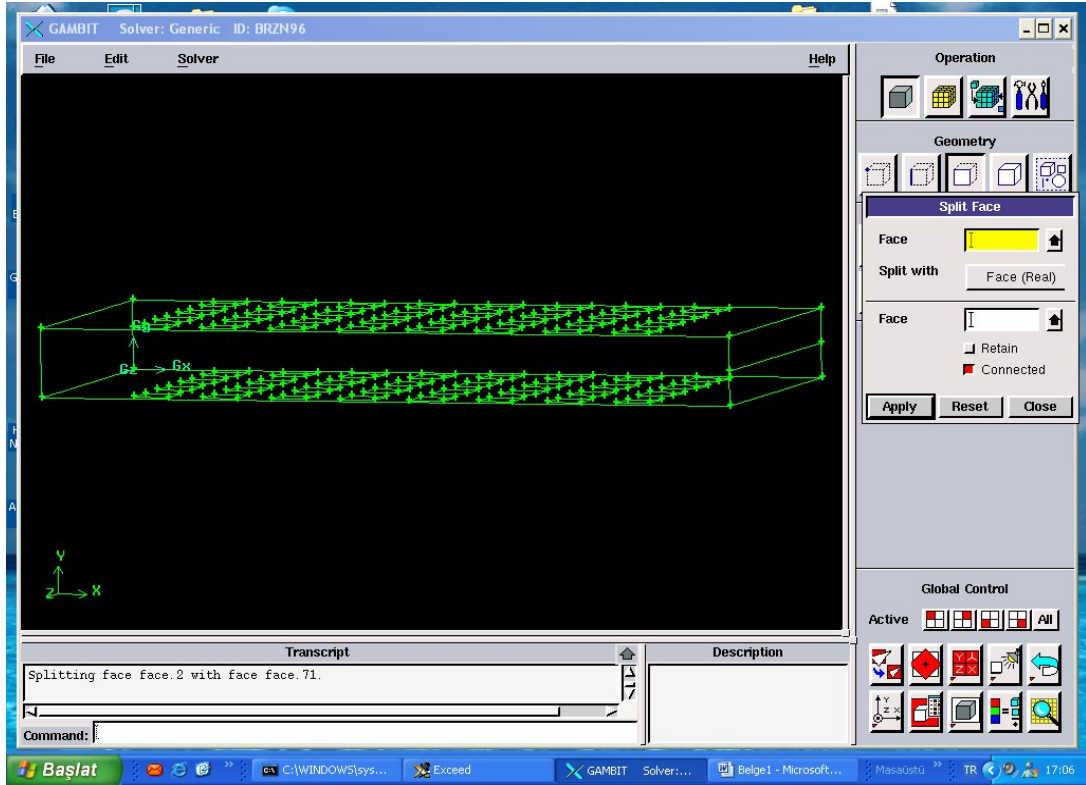
EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 63 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 64 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 65 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 66 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 67 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.

EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 68 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 69 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 2 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 70 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.

## EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



Şekil 1.8. Isıtıcıların Kanal Üst Yüzeyine Derç Edilmesi

- Engel yüzeyini oluşturmak için
- Önce derç edilecek face seçilir.
- Face list ten face 1 seçilir.
- Isıtıcıların face listinden face 71 işaretlenir.
- Connected aktif hale getirilir.
- Apply yapılır.

### Operation→Mesh→Create Boundary Layer→

- Yüzeyler mesh atılırken kolay bölümlendirilebilsin diye linklenir

## EK-1(Devam) Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Create boundary layer penceresi açılır.
- Algoritma uniform seçilir.
- First row (a) = 0,002
- Growth factor (b/a) = 1,2
- Rows = 6
- Depth (D) =0,032
- Internal continuity aktif hale getirilir.
- Link faces mesh penceresi açılır.

Önce üst kısımdaki face Mouse ile sol tıklanır burası sarı rengi aldığıında shift' e basılı tutulurken Mouse' un sol tuşu ile birleştirilecek face kısmının karşısına face 6 seçilir.

Karşı kısımdaki face Mouse ile sol tıklanır burası sarı rengi aldığıında shift' e basılı tutulurken Mouse' un sol tuşu ile birleştirilecek face kısmının karşısına face 4 seçilir.

Alttaki link with kısmındaki face Mouse ile sol tıklanır burası sarı rengi aldığıında shift' e basılı tutulurken Mouse' un sol tuşu ile birleştirilecek face kısmının karşısına face 12 seçilir.

Öndeki link with kısmındaki face Mouse ile sol tıklanır burası sarı rengi aldığıında shift' e basılı tutulurken Mouse' un sol tuşu ile birleştirilecek face kısmının karşısına face 10 seçilir.

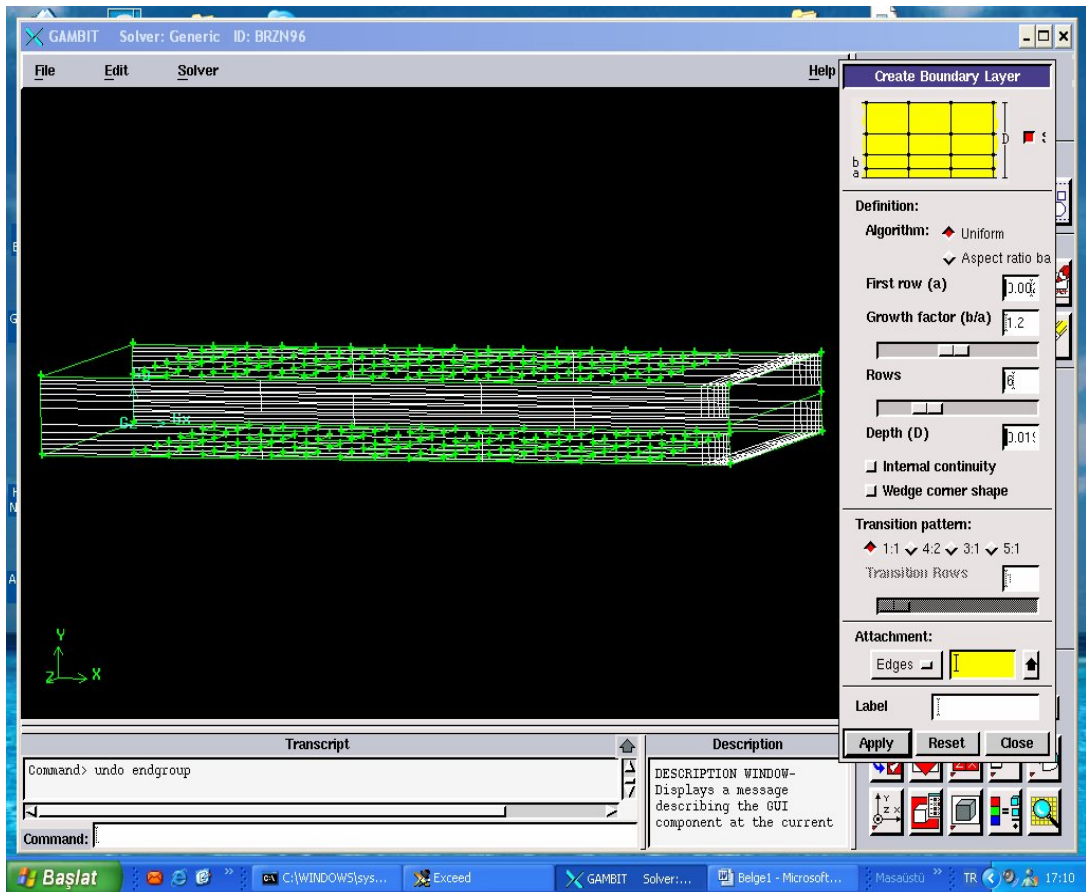
Apply yapılır.

**Operation →Mesh →Volume→Mesh Volumes →**

- Mesh volumes penceresi açılır.
- Volume linkinden volume 1 seçilir.

## EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

- Scheme apply aktif hale getirilir.
- Elements hex
- Type map
- Spacing 0,004 yazılarak options mesh aktif halde iken apply yapılır.
- Dikdörtgenler prizmasına 168750 Hücre mesh atılır.
- File edit solver
- Solver fluent 5/6 tıklanır.



Şekil 1.9. Kanal Kenarlarına Mesh Atılması

EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

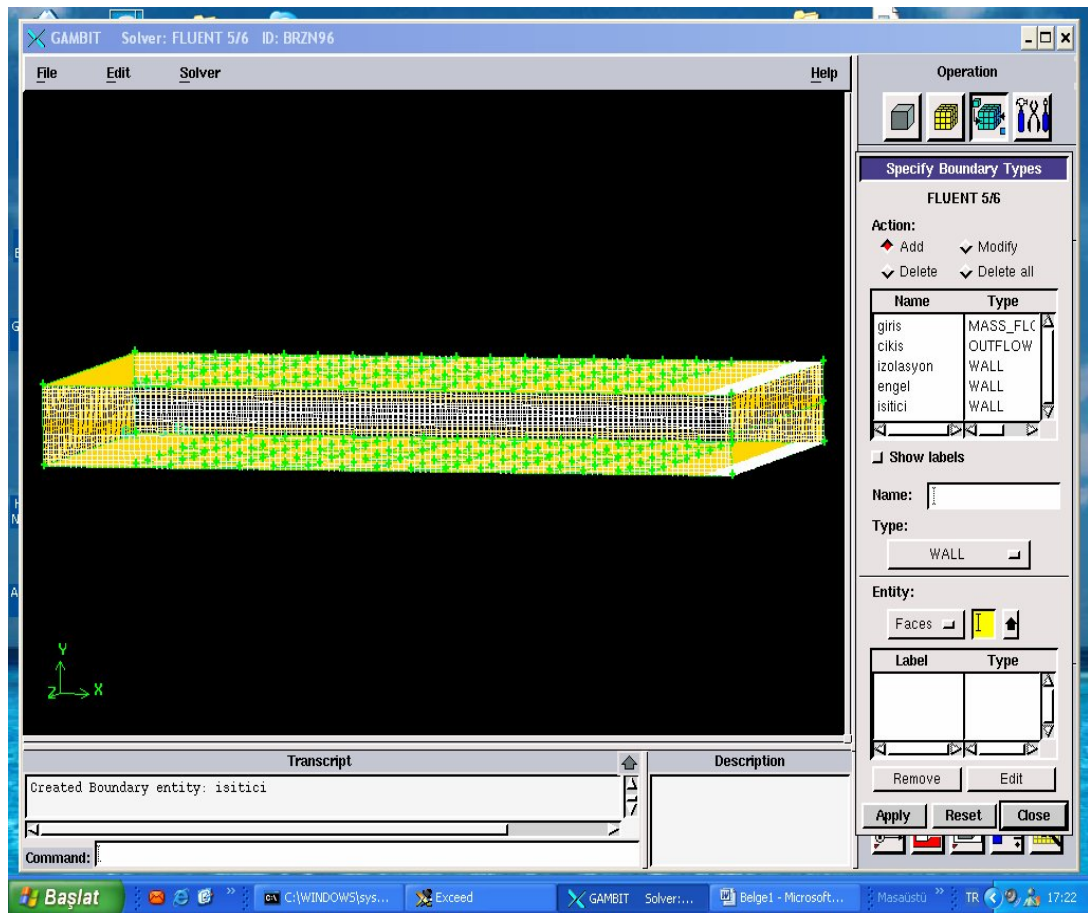
### Sınır Şartı Tipinin Belirlenmesi

#### Operation → Zones → Specify Boundary Types →

- specify boundary types penceresi açılır.
- Type kısmından velocity \_inlet seçilir.
- Önce alttaki entity Mouse ile sol tıklanır burası aktif olduğunda shift' e basılı tutulurken mouse' un sol tuşu ile birleştirilecek entity kısmının karşısına face.3 (dikdörtgenler prizmasının akışkanın girdiği yüz ) seçilir.
- specify boundary types penceresi halen açıktır.
- Type kısmından outflow seçilir.
- Önce alttaki entity Mouse ile sol tıklanır burası aktif olduğunda shift' e basılı tutulurken mouse' un sol tuşu ile birleştirilecek entity kısmının karşısına face.1 dikdörtgenler prizmasının akışkanın çıktığı yüz seçilir.
- specify boundary types penceresi halen açıktır.
- Type kısmından wall seçilir.
- Önce alttaki entity Mouse ile sol tıklanır burası aktif olduğunda shift' e basılı tutulurken mouse' un sol tuşu ile birleştirilecek entity kısmının karşısına face.2,face.4, face.5, face.6 (dikdörtgenler prizmasının karşı, ön, üst ve alt yüz ) seçilir.
- specify boundary types penceresi halen açıktır.
- Type kısmından wall seçilir.
- Önce alttaki entity Mouse ile sol tıklanır burası aktif olduğunda shift' e basılı tutulurken mouse' un sol tuşu ile birleştirilecek entity kısmının karşısına face1, 2, 3, 4, 5, 6, 71 hariç diğer bütün faceler seçilir.
- specify boundary types penceresi halen açıktır.
- Type kısmından wall seçilir.

EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

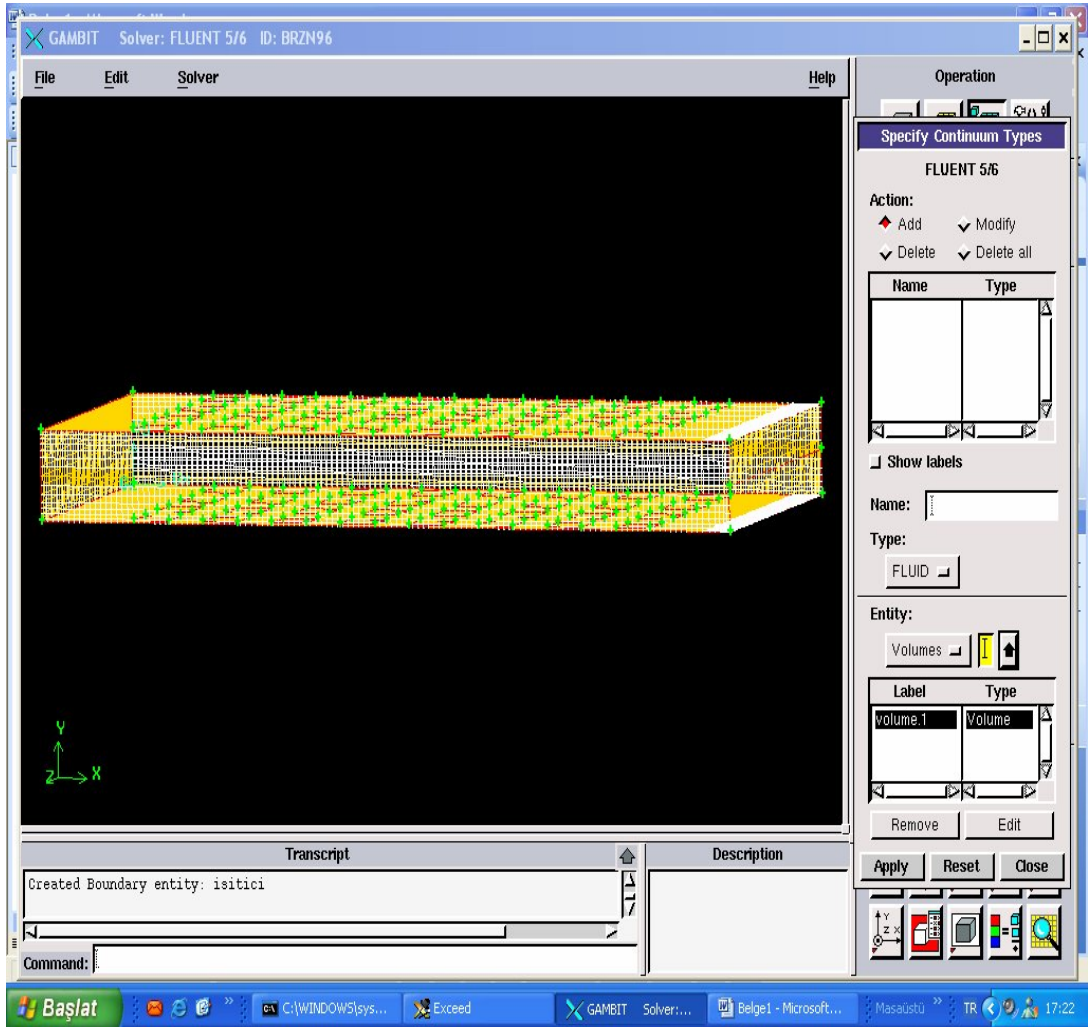
- Önce alttaki entity Mouse ile sol tıklanır burası aktif olduğunda shift' e basılı tutulurken mouse' un sol tuşu ile birleştirilecek entity kısmının karşısına face.71 (dikdörtgenler prizmasının akışkanın çarptığı yüz ) seçilir.



Şekil 1.10. Sınır Şartlarının Tanımlandığı Yüzeylerin Belirlenmesi

- specify continuum types penceresi halen açıktır.
- Type kısmından Fluid seçilir.
- Volumes penceresinden volume list' e girilerek volume 1 işaretlenip seçilir.
- Apply yapılır.

EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

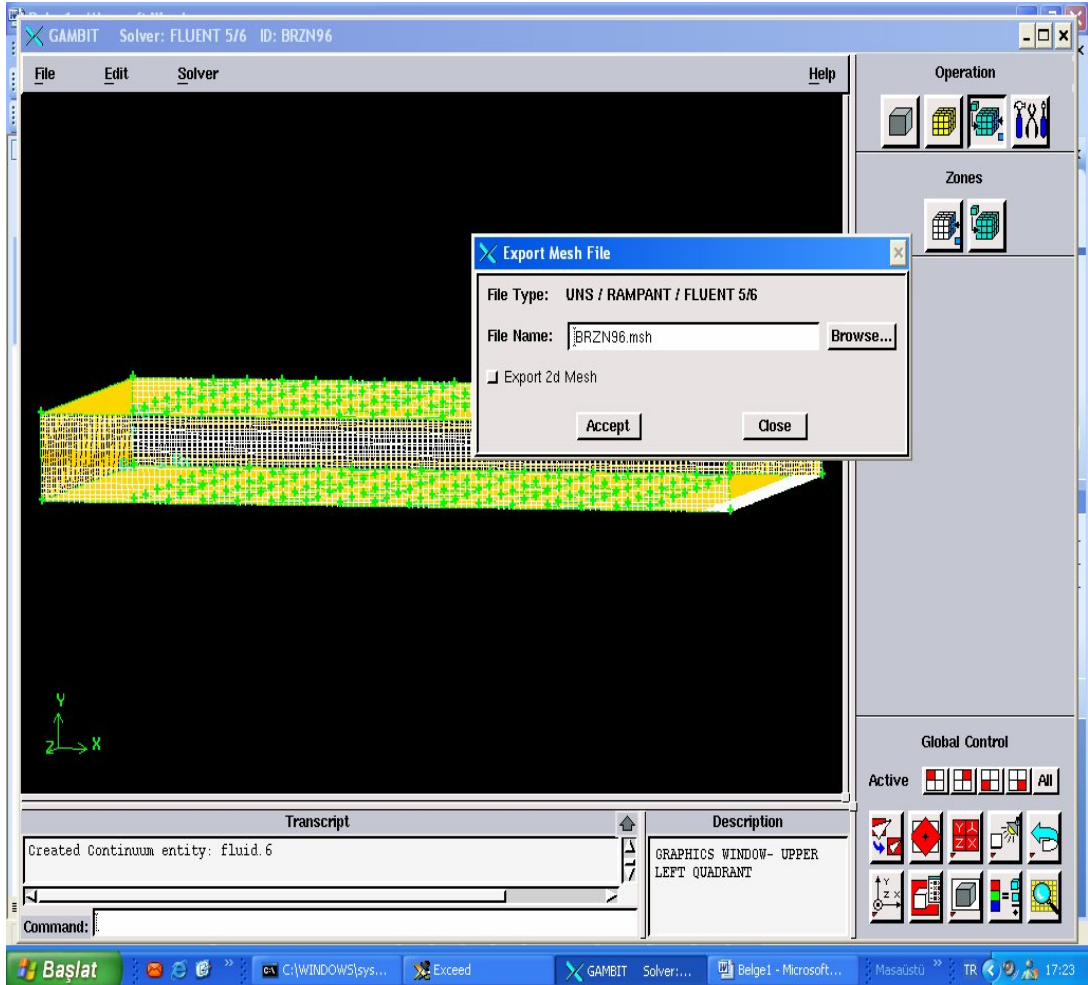


Şekil 1.11. Kanal İçindeki Hacmin Meshlenmesi

File, save ile kayıt gerçekleştirilir default\_id.dbs, default\_id.jou, default\_id.trn isimli dosyalar oluşturulur.

File, export, mesh ile default\_id.msh isimli dosya oluşturulur.

## EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

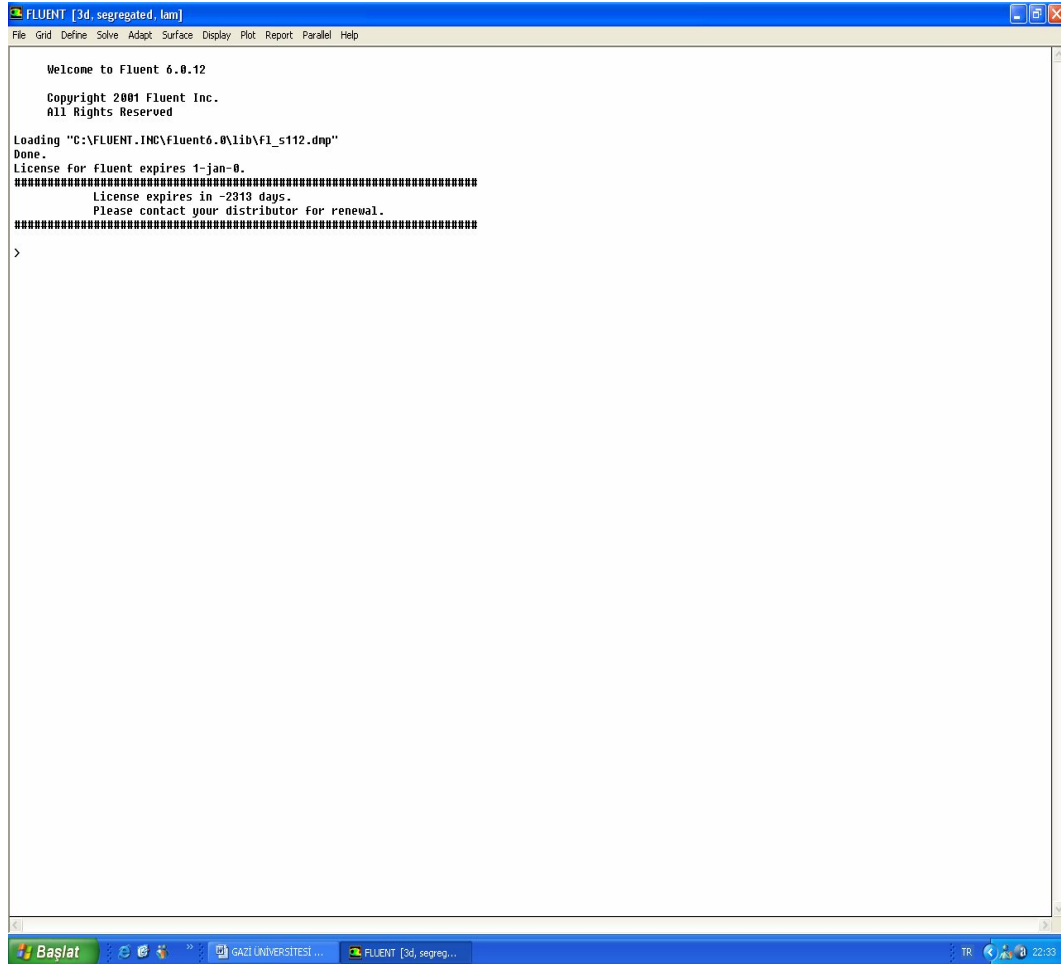


Şekil 1.12. Oluşturulan Geometrinin Kaydedilmesi

### Fluente yapılan işlemler :

1. start, programs, fluent inc, fluent 6.0 yolu izlenerek açılan fluent versions penceresinde 3d seçilerek çalıştır ikonuna basılarak fluent paket programı çalıştırılır. Açılan pencere aşağıdaki gibidir.

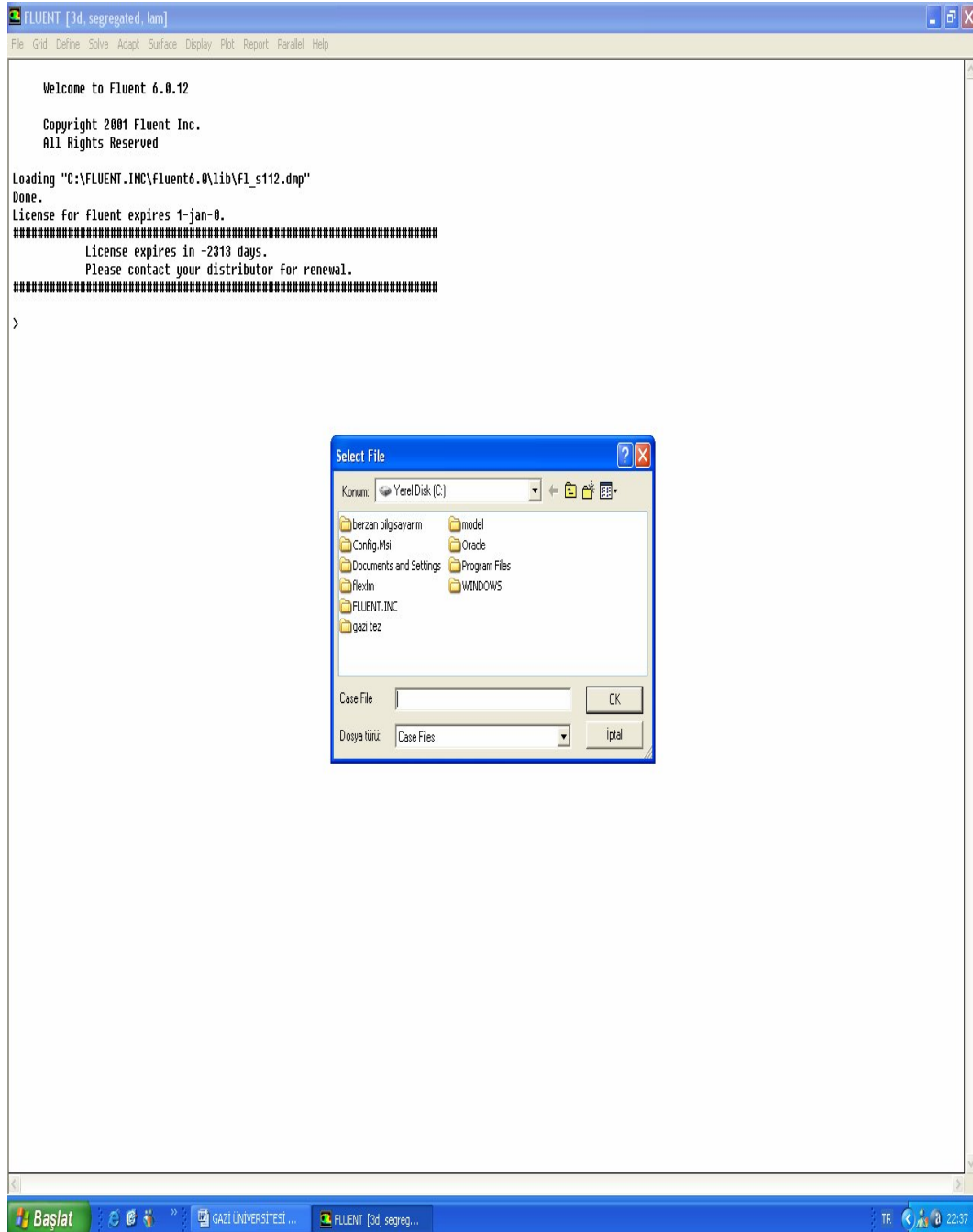
## EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



Şekil 1.13. Fluentin çalıştırılması

2. **File** → **Read** → **Case...** kullanılarak default\_id.msh. dosya bulunarak select file penceresinde ok ikonuna basılarak okutulur. Okuma işlemi aşağıda şekil de okumadan sonraki ekranın son hali şekilde görülmektedir.

## EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



Şekil 1.14. Case dosyasının okunması 1

## EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



```

FLUENT [3d, segregated, lam]
File Grid Define Solve Adapt Surface Display Plot Report Parallel Help

Welcome to Fluent 6.0.12

Copyright 2001 Fluent Inc.
All Rights Reserved

Loading "C:\FLUENT\INC\fluent6.0\lib\fl_s112.dmp"
Done.
License for fluent expires 1-jan-0.
#####
License expires in -2313 days.
Please contact your distributor for renewal.
#####
> Reading "C:\model\BRZM92\BRZM9221204.dat"...

Error: %read-data-section: invalid grid
Error Object: ()

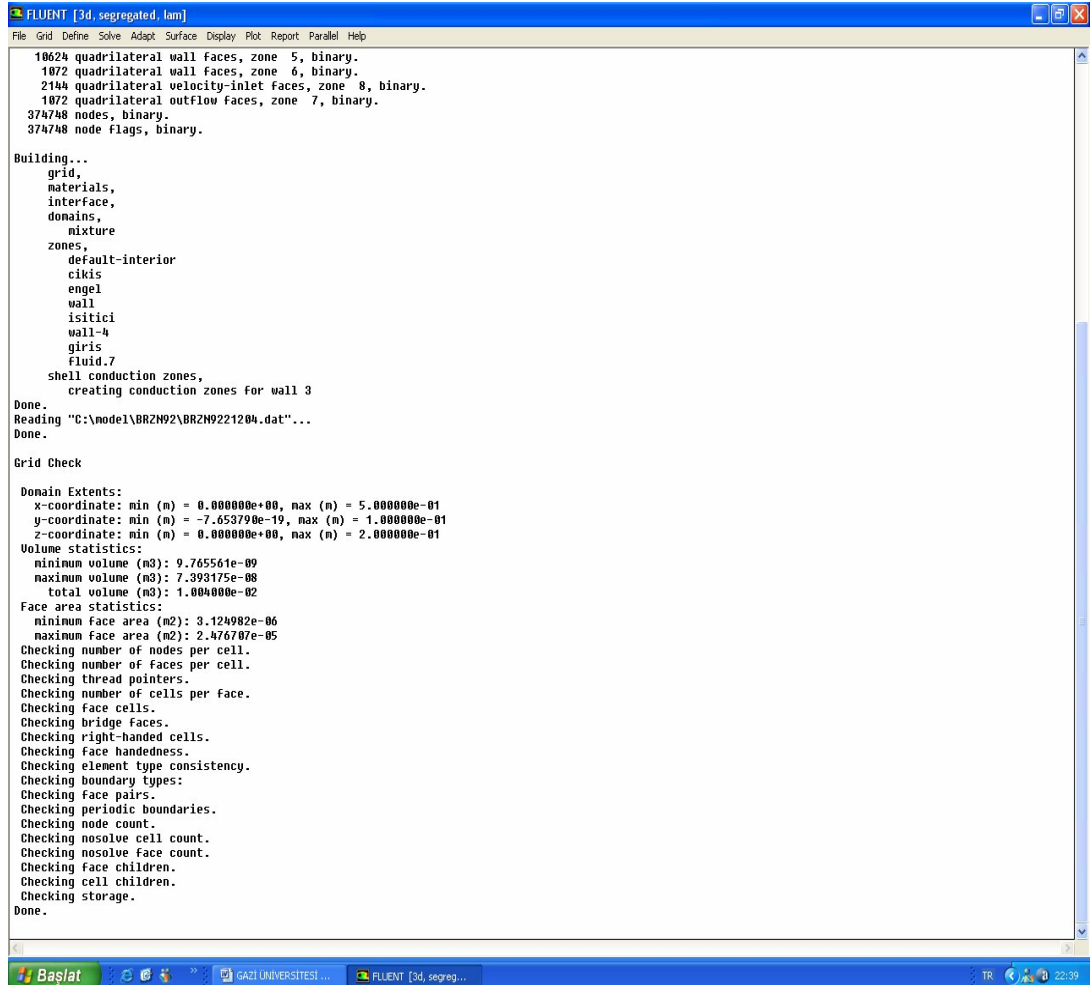
Error: Error reading "C:\model\BRZM92\BRZM9221204.dat".
Error Object: #f
Reading "C:\model\BRZM92\BRZM9221204.cas"...
355904 hexahedral cells, zone 2, binary.
1049134 quadrilateral interior faces, zone 10, binary.
4096 quadrilateral wall faces, zone 3, binary.
18148 quadrilateral wall faces, zone 4, binary.
10624 quadrilateral wall faces, zone 5, binary.
1072 quadrilateral wall faces, zone 6, binary.
2144 quadrilateral velocity-inlet faces, zone 8, binary.
1072 quadrilateral outflow faces, zone 7, binary.
374748 nodes, binary.
374748 node flags, binary.

Building...
  grid,
  materials,
  interface,
  domains,
  mixture
  zones,
  default-interior
  cikis
  engel
  wall
  isitici
  wall-4
  giris
  fluid.7
  shell conduction zones,
  creating conduction zones for wall 3
Done.
Reading "C:\model\BRZM92\BRZM9221204.dat"...
Done.
|
  
```

Şekil 1.15. Case dosyasının okunması 2

4. **Grid** →**Check...** kullanılarak grid yapısı kontrol edilir. Ekranda yazan ifadelerden minimum hacim değerlerine bakılır ve tüm hacimlerin pozitif olması şartının sağlanıp sağlanmadığına bakılır. Çözüm yapabilmek için tüm hacimlerin pozitif olması gerekmektedir. kontrol işleminden sonra ekranda şekildeki görüntü oluşur.

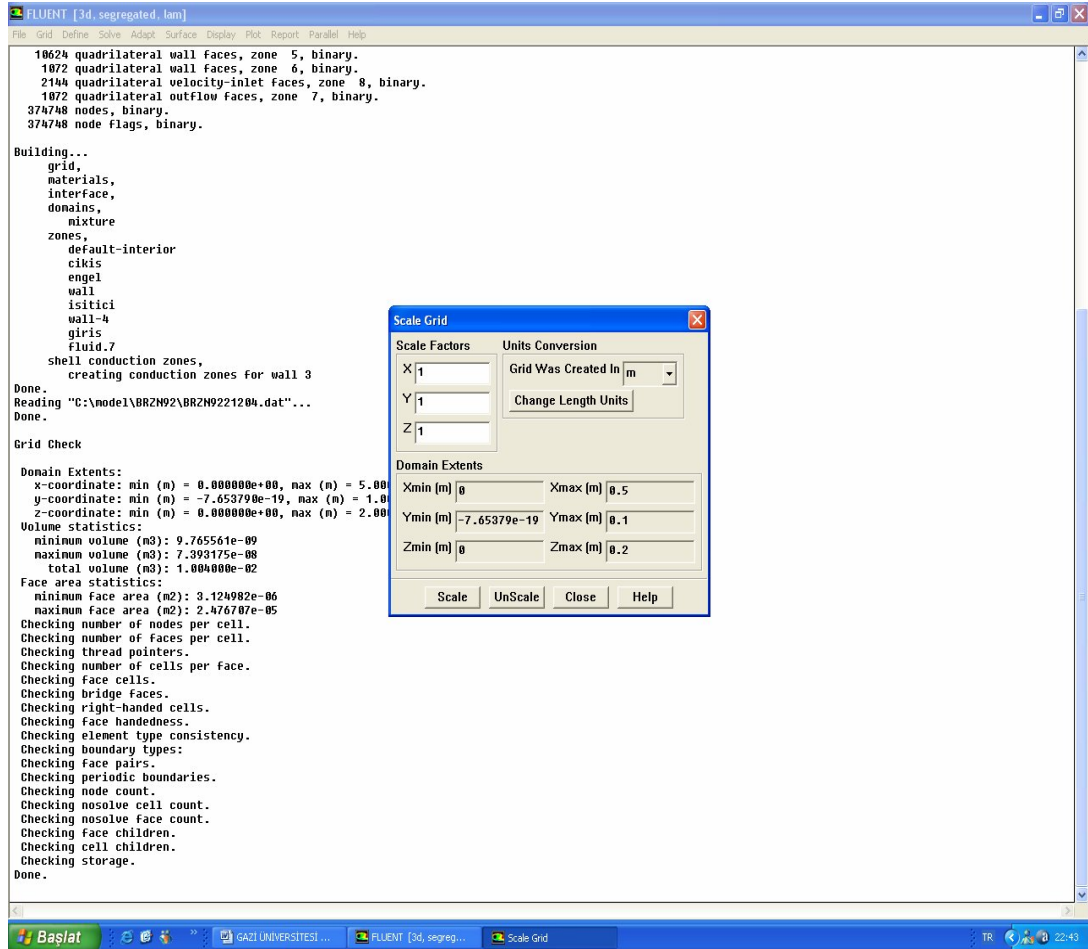
## EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



Şekil 1.16. Gridlerin kontrol edilmesi

4. **Grid** → **scale...** kullanılarak açılan scale grid penceresinde grid was created in karşısında m seçilerek scale grid penceresi kapatılır. Kapatmadan önce scale grid penceresinde yer alan ölçülerin doğru olup olmadığı kontrol edilir. Eğer hata varsa scale veya unscale kullanılarak doğru olmaları sağlanır. Scale işlemini esnasında ekran aşağıdaki hali alır.

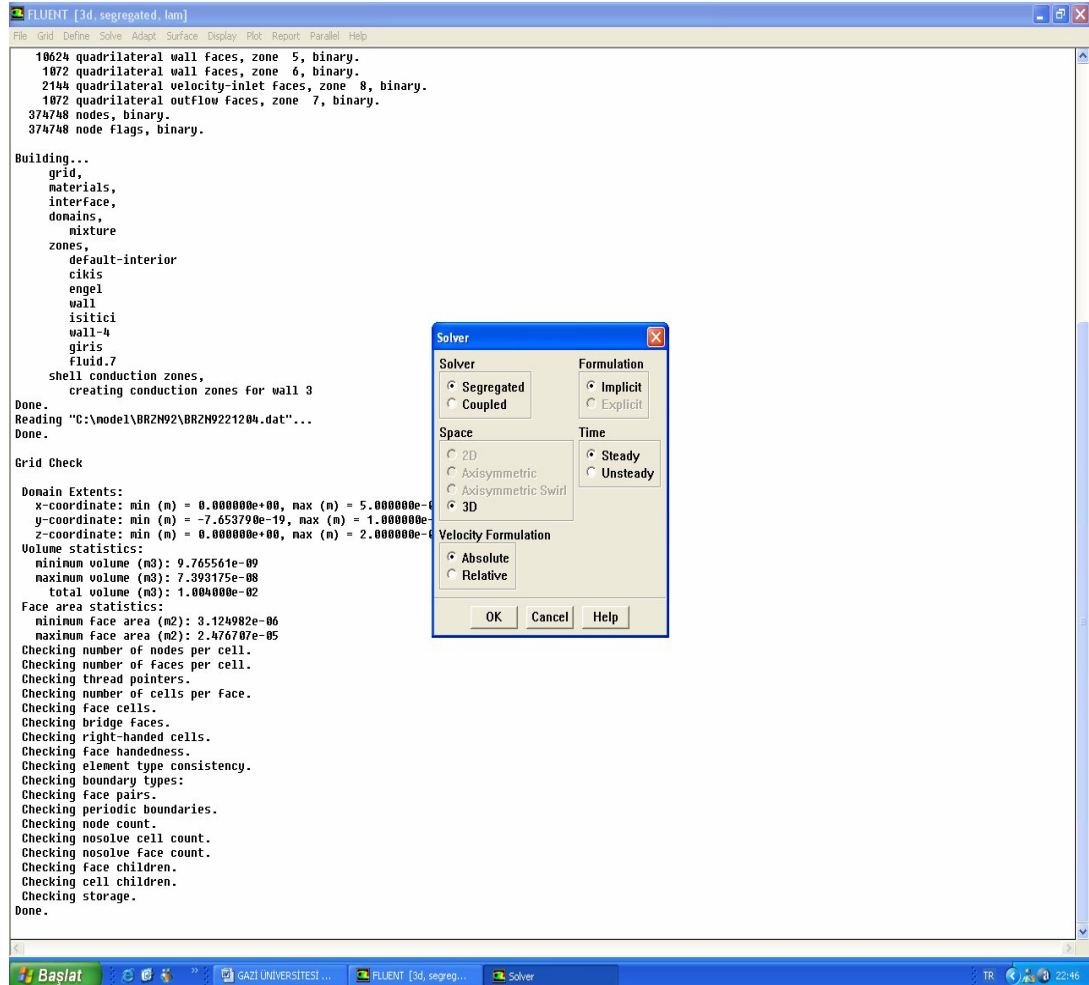
## EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



Şekil 1.17. Gridlerin ölçümlendirilmesi

**Define** → **Models** → **solver...** kullanılarak açılan solver penceresinde hiçbir değişiklik yapılmaz. Çünkü default olarak segregated çözüm seçili durumdadır. Solver penceresi açikken ekran şeklideki gibidir. Solver penceresindeki ok ikonu tıklanır.

## EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

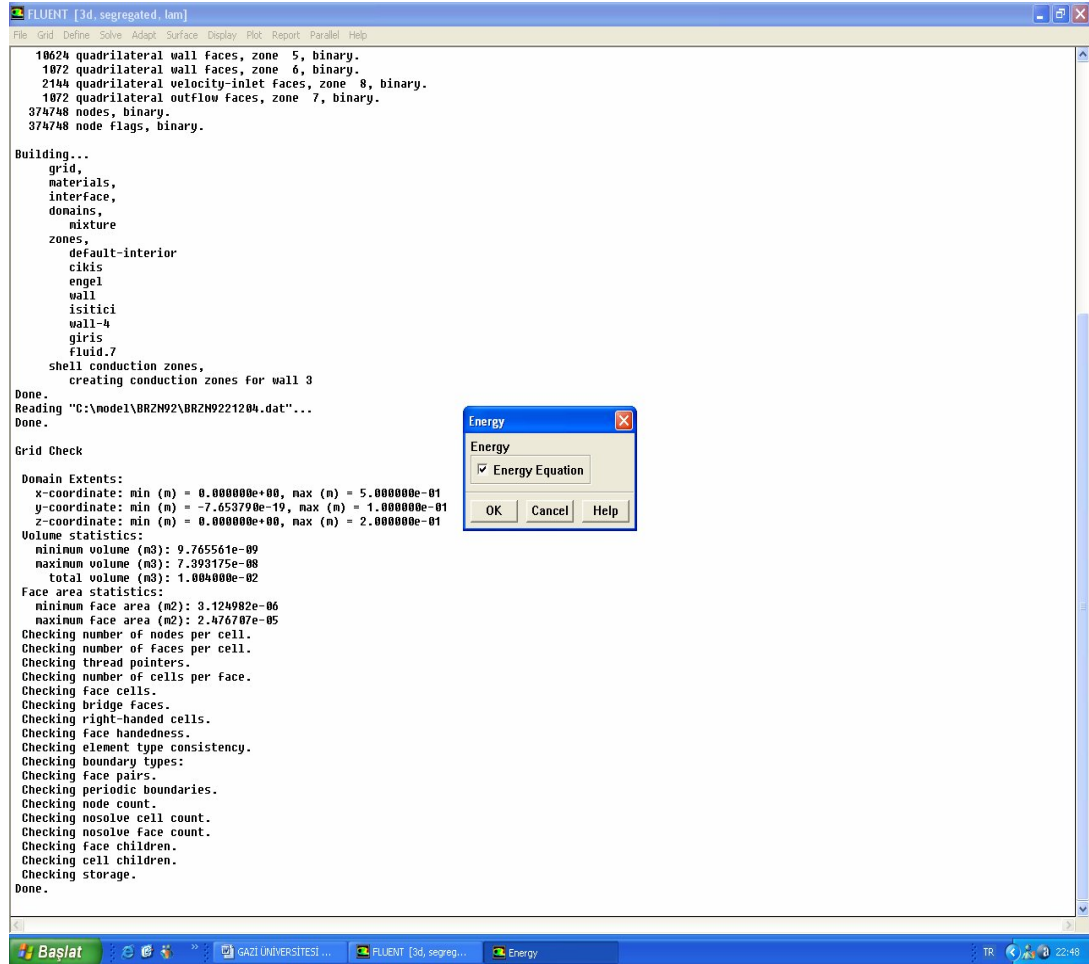


Şekil 1.18. Çözüm yönteminin seçilmesi

**Define** → **Models** → **Energy...** kullanılarak açılan energy penceresinde energy equation aktif hale getirilir. Energy penceresi açıkken ekran şekildeki gibidir.

Energy penceresindeki ok ikonu tıklanır.

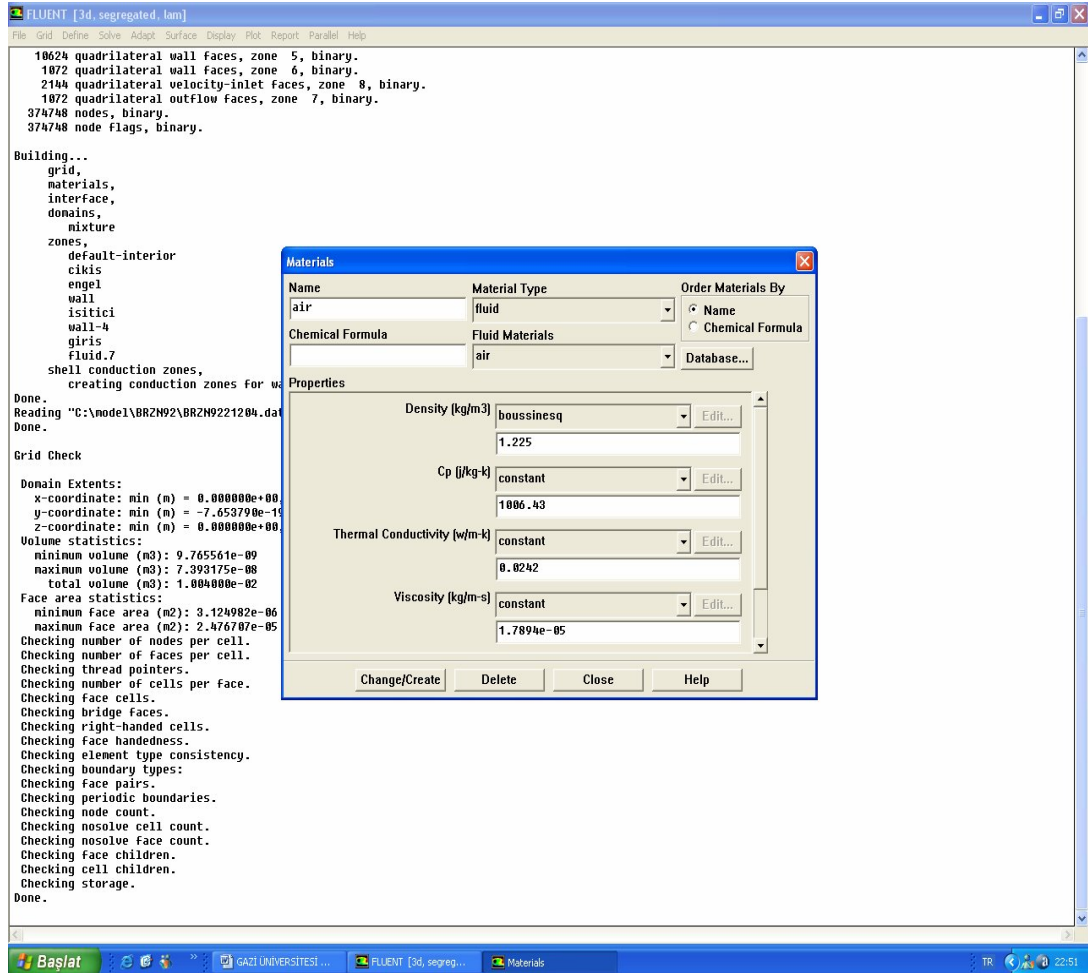
## EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



Şekil 1.19. Enerjinin aktif hale getirilmesi

**Define** → **Materials...** kullanılarak açılan materials penceresinde ideal gas aktif hale getirilir.ve change/create ikonu tıklanır. Materials model penceresi açıkken ekran şekildeki gibidir. Materials penceresindeki close ikonu tıklanır.

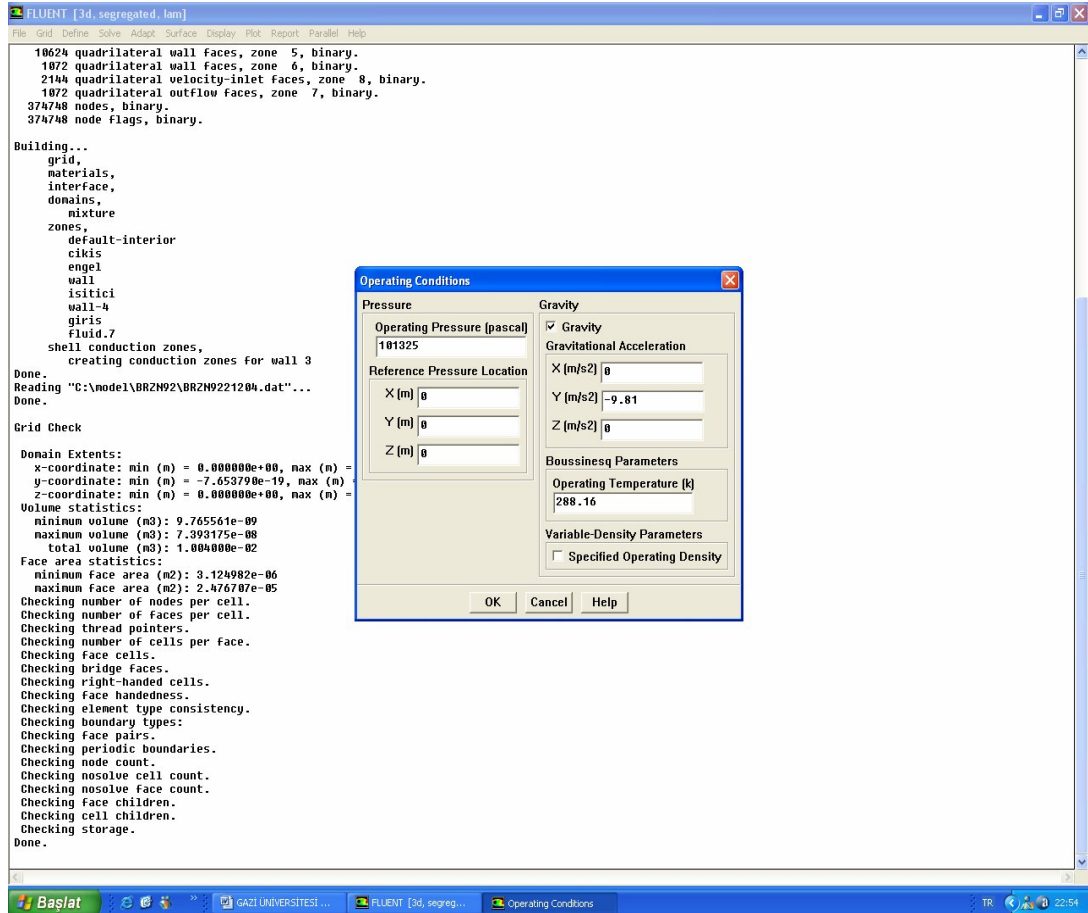
## EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



Şekil 1.20. Madde özelliklerinin seçilmesi

10. **Define** → **operating conditions...** kullanılarak açılan operating conditions penceresinde hiçbir şey değiştirilemez. Operating conditions penceresi açıkken ekran şekilindeki gibidir. Operating conditions penceresindeki ok ikonu tıklanır.

## EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

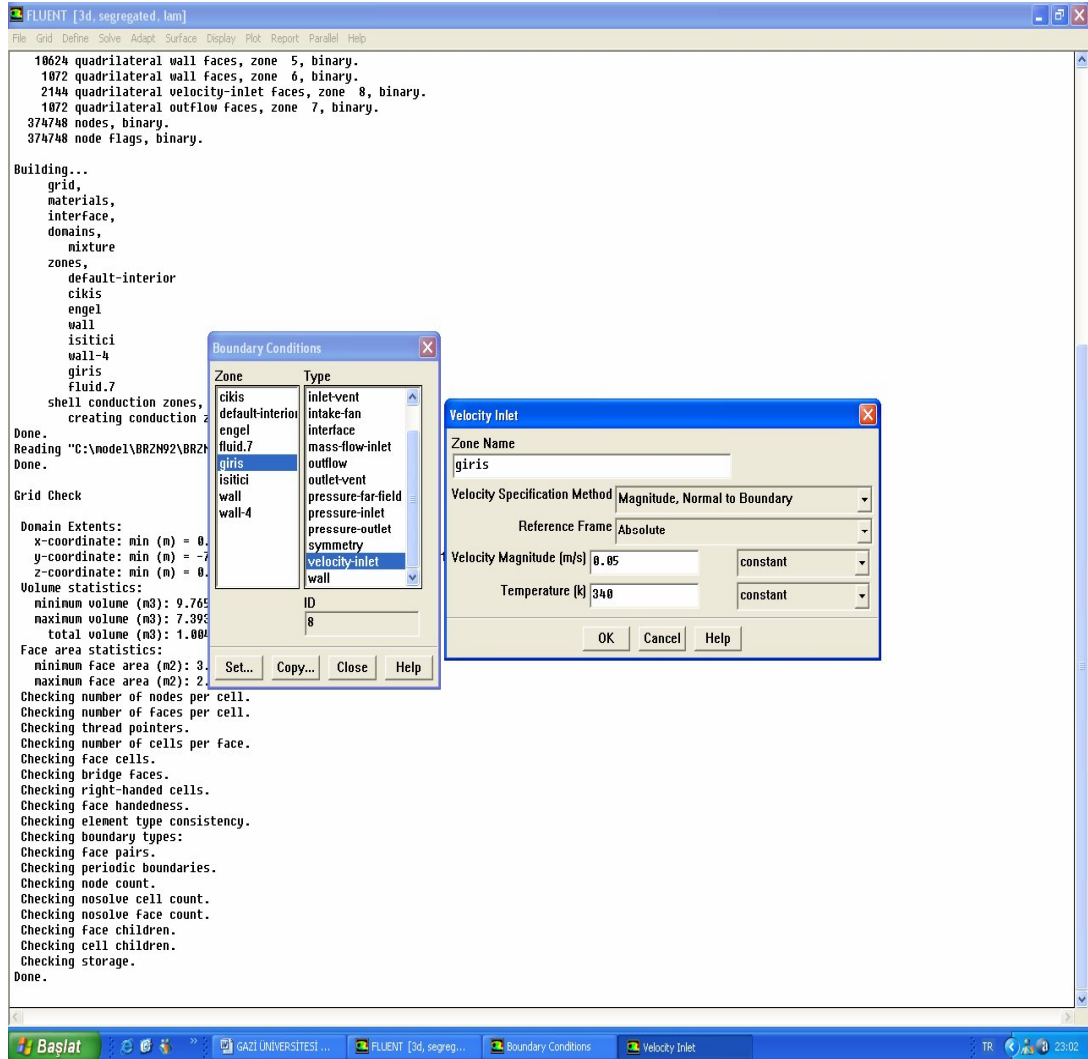


Şekil 1.21. Çevre şartlarının belirlenmesi

11. **Define** → **boundary conditions...** kullanılarak açılan boundary conditions penceresinde sınır şartlarına sırasıyla değerler girilir.

11.1. boundary conditions penceresinde velocity\_inlet.1 sınır şartı seçilir ve set ikonuna tıklanır, açılan velocity inlet penceresinde velocity magnitute (m/s) değeri 0.05 girilir, temperatura (k) 340 girilir. Velocity inlet penceresi açıkken ekran şekildeki gibidir. Velocity inlet penceresindeki ok ikonu tıklanır.

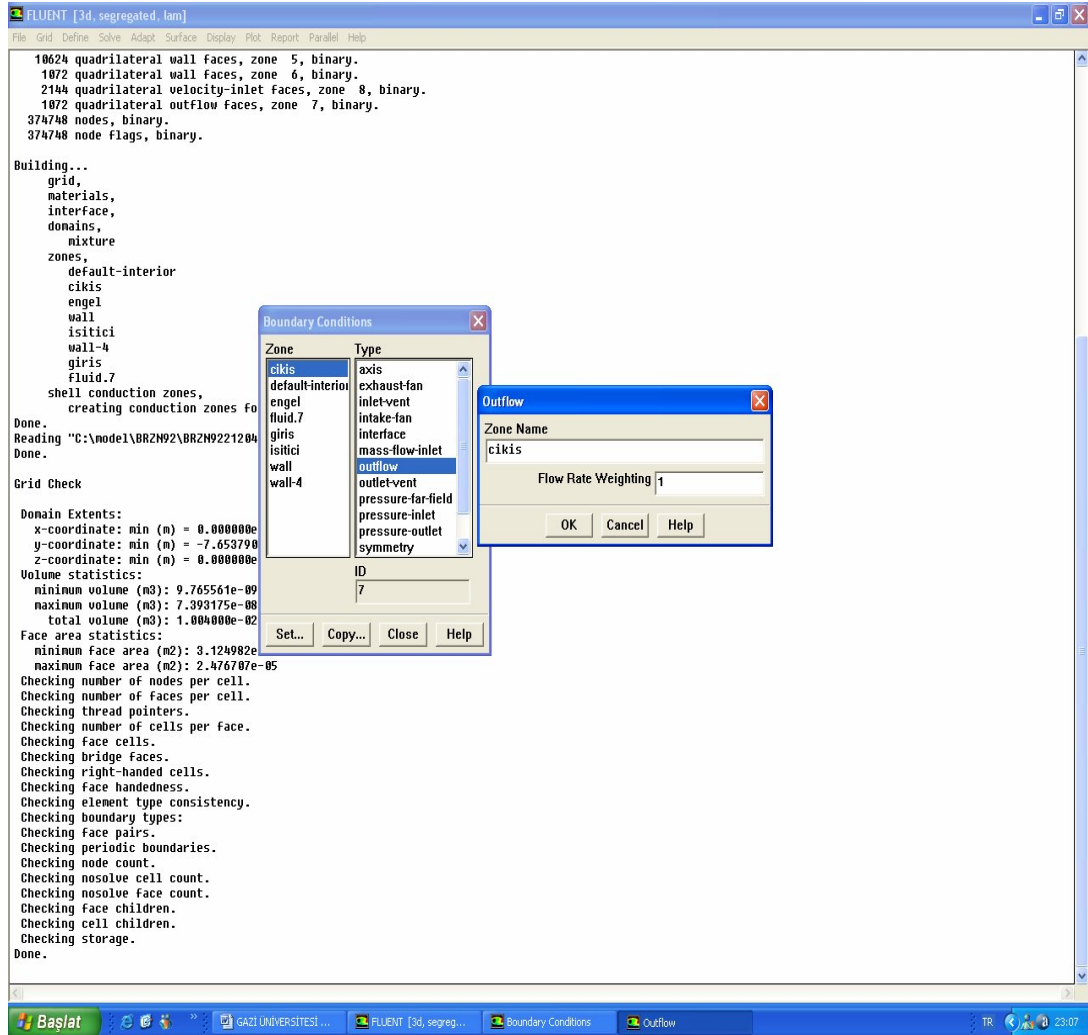
## EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



Şekil 1.22. Kanal giriş özelliklerini sınır şartı olarak girilmesi

11.2. boundary conditions penceresinde outflow sınır şartı seçilir ve set ikonuna tıklanır, açılan outflow penceresinde flow rate weighting değeri 1 girilir. Outflow penceresi açıkken ekran şekildeki gibidir. Outflow penceresindeki ok ikonu tıklanır.

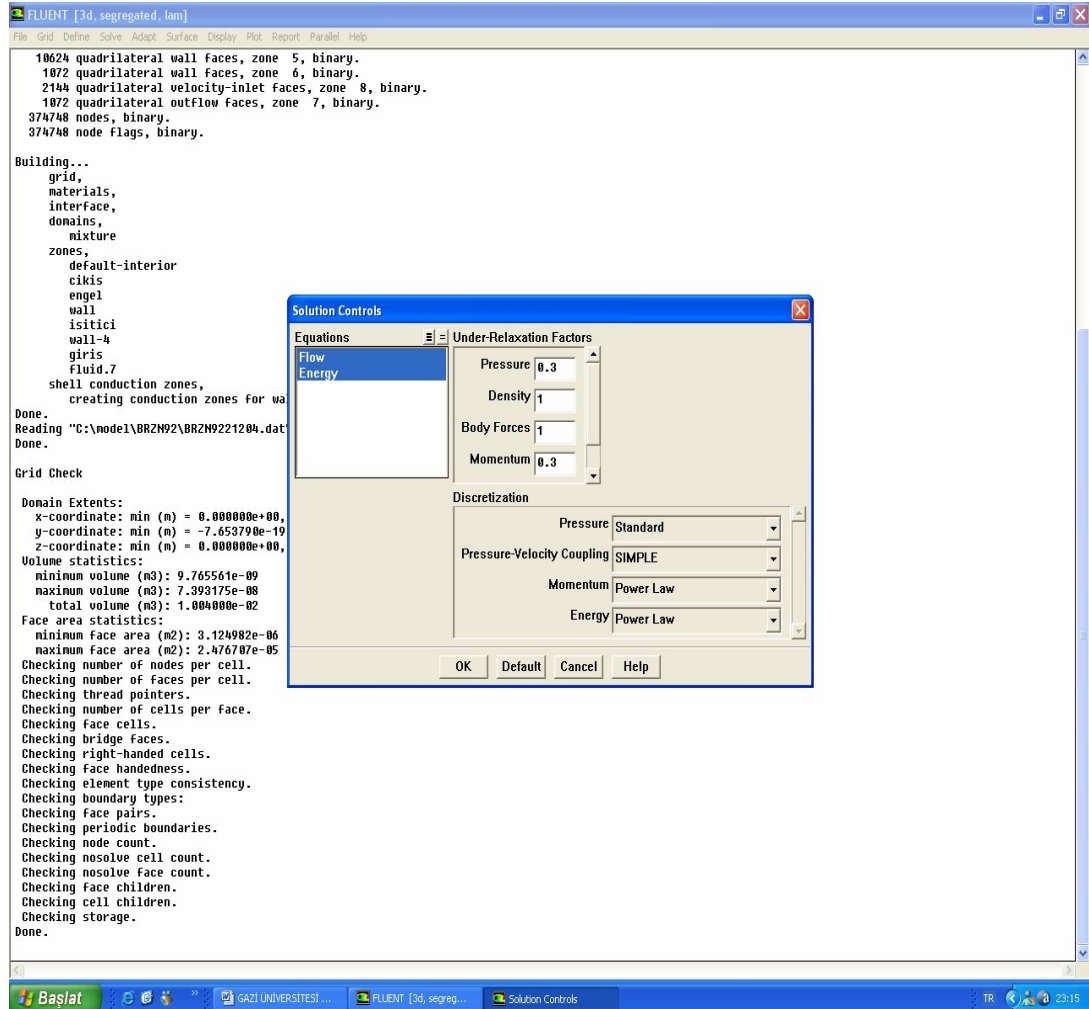
## EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



Şekil 1.23. Çıkış yüzeyi özelliklerini sınır şartı olarak girilmesi

12. Solve→Controls →solution... kullanılarak solution controls penceresinde relaxation factors'ler değiştirilebilir. Discretization'lar değiştirilebilir. Burada hiçbir değişiklik yapmaya ihtiyaç yok. Bu nedenle değişiklik yapılmadan solution controls penceresindeki ikonuna tıklanır. Solution controls açıkken ekran şekildeki gibidir.

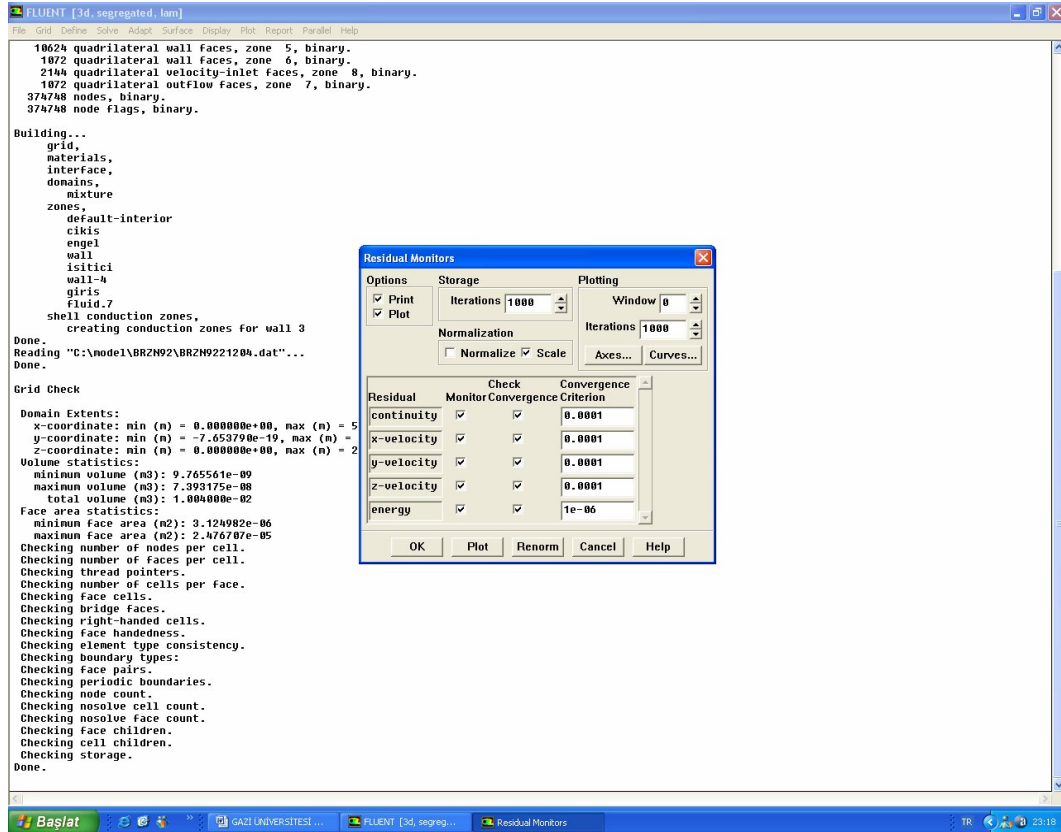
## EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



Şekil 1.24. Relaksasyon parametrelerinin belirlenmesi

13. Solve→Monitors→ Residuals... kullanılarak açılan residual monitors penceresinde convergence criterion'lar değiştirilebilir, options kısmında plot aktif hale getirilebilir, aktif hale getiriyoruz. Residual Monitors penceresindeki ok ikonuna tıklanır. Residual monitors penceresi açıkken ekran şekildeki haldedir.

## EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

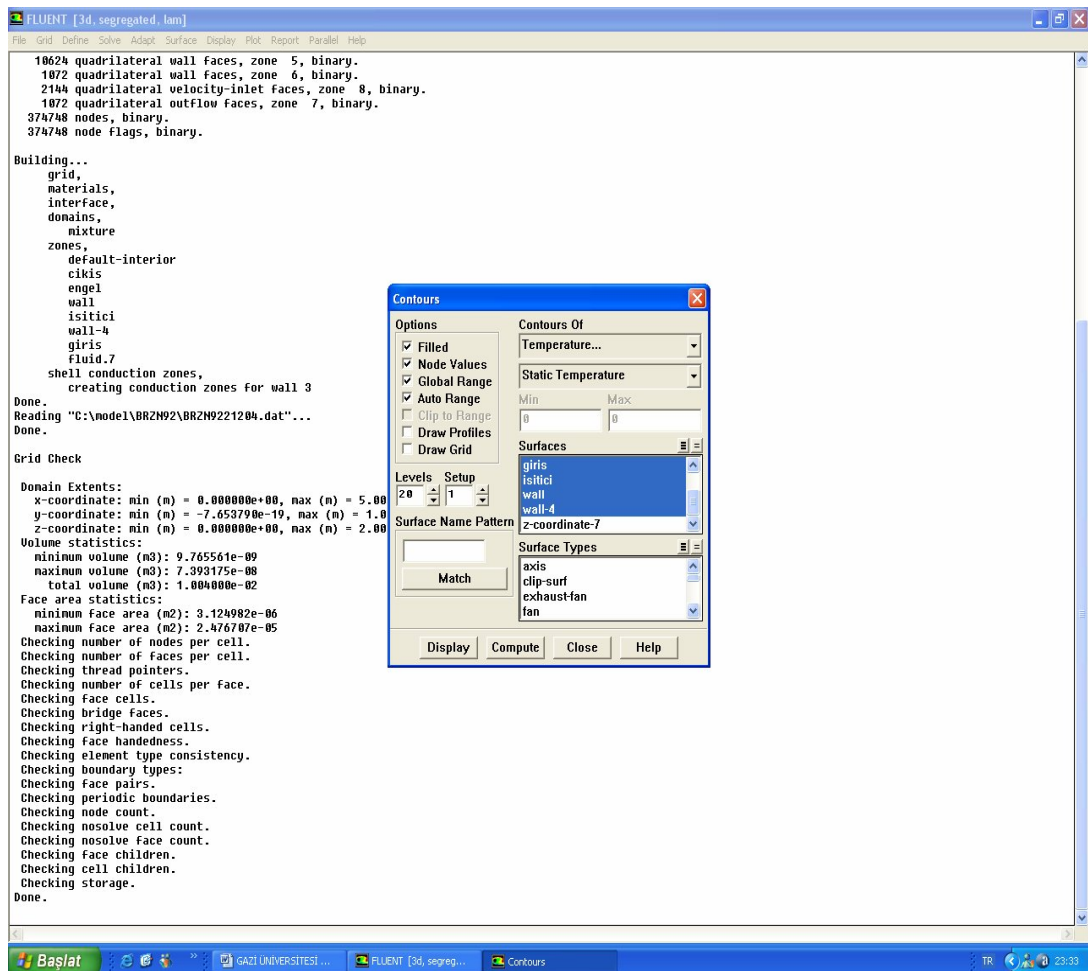


Şekil 1.25. Residuallerin belirlenmesi

14. Solve→initialize→ initialize... kullanılarak açılan solution initialization penceresinde compute from kısmında velocity\_inlet.1 seçilir. Ve init ikonuna tıklanır, sonra close ikonuna tıklanarak solution initialization penceresi kapatılır.
15. File →Write→ Case ile son hal kaydedilir, açılan select file penceresinde ok ikonu tıklandığında default\_id.cas isimli bir dosya kayır edilir.
16. Solve→iterate... kullanılarak açılan iterate penceresinde number of iterations kısmına 25000 değeri girilerek iterate ikonuna tıklanır, iterasyon başladığında ekranda şekildeki görüntü oluşur.

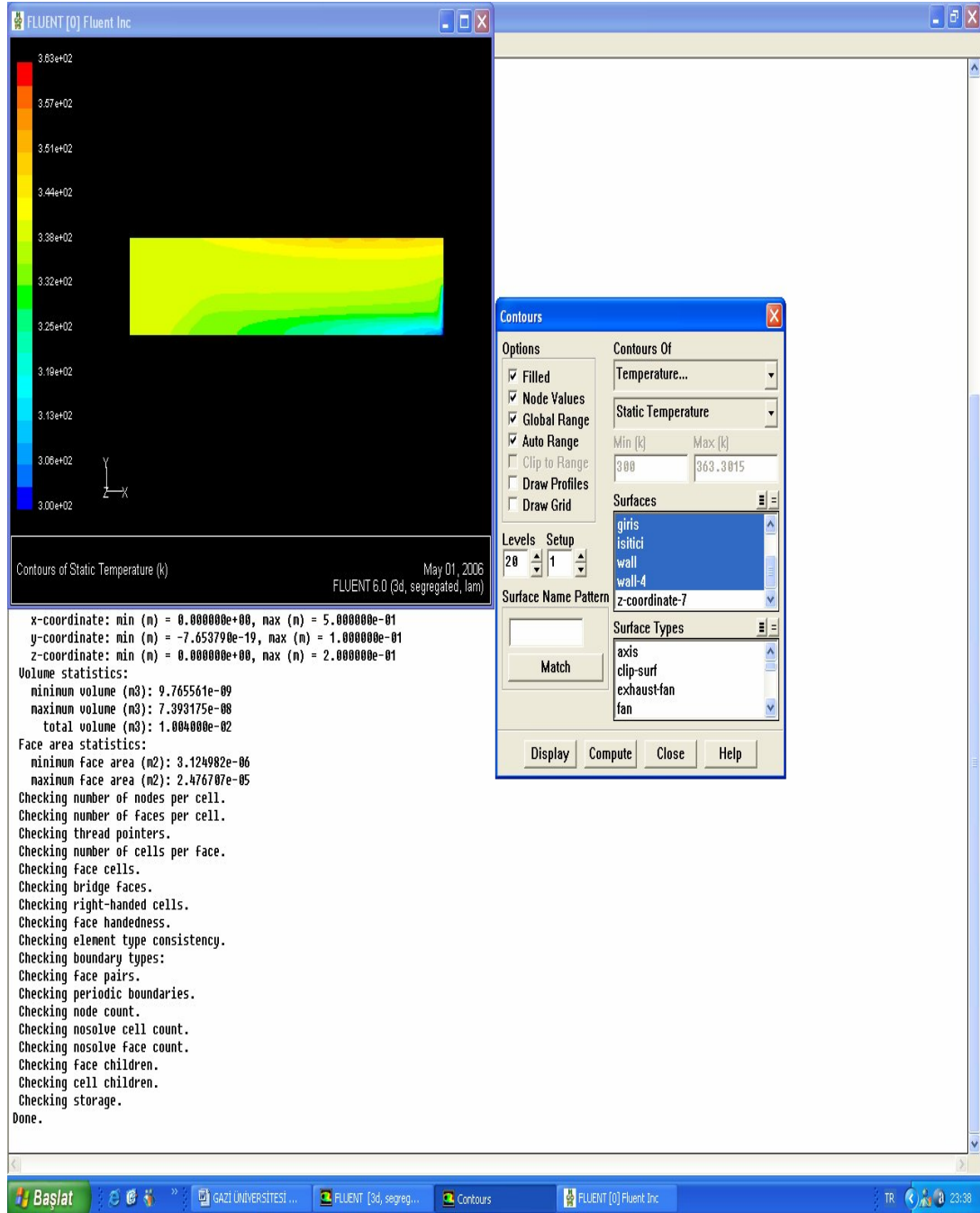
## EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi

17. Display→Contours→ kullanılarak açılan contours penceresinde contours of kısmında temperature seçilir, surfaces kısmında üç çizgili ikon tıklanarak tüm yüzeylerin seçilmesi sağlanır, options kısmında filled aktif hale getirilir ve display ikonuna tıklanarak görüntü alınır. Görüntülü ekran şekildeki gibidir. Contours penceresi close ikonuna tıklanarak kapatılır.



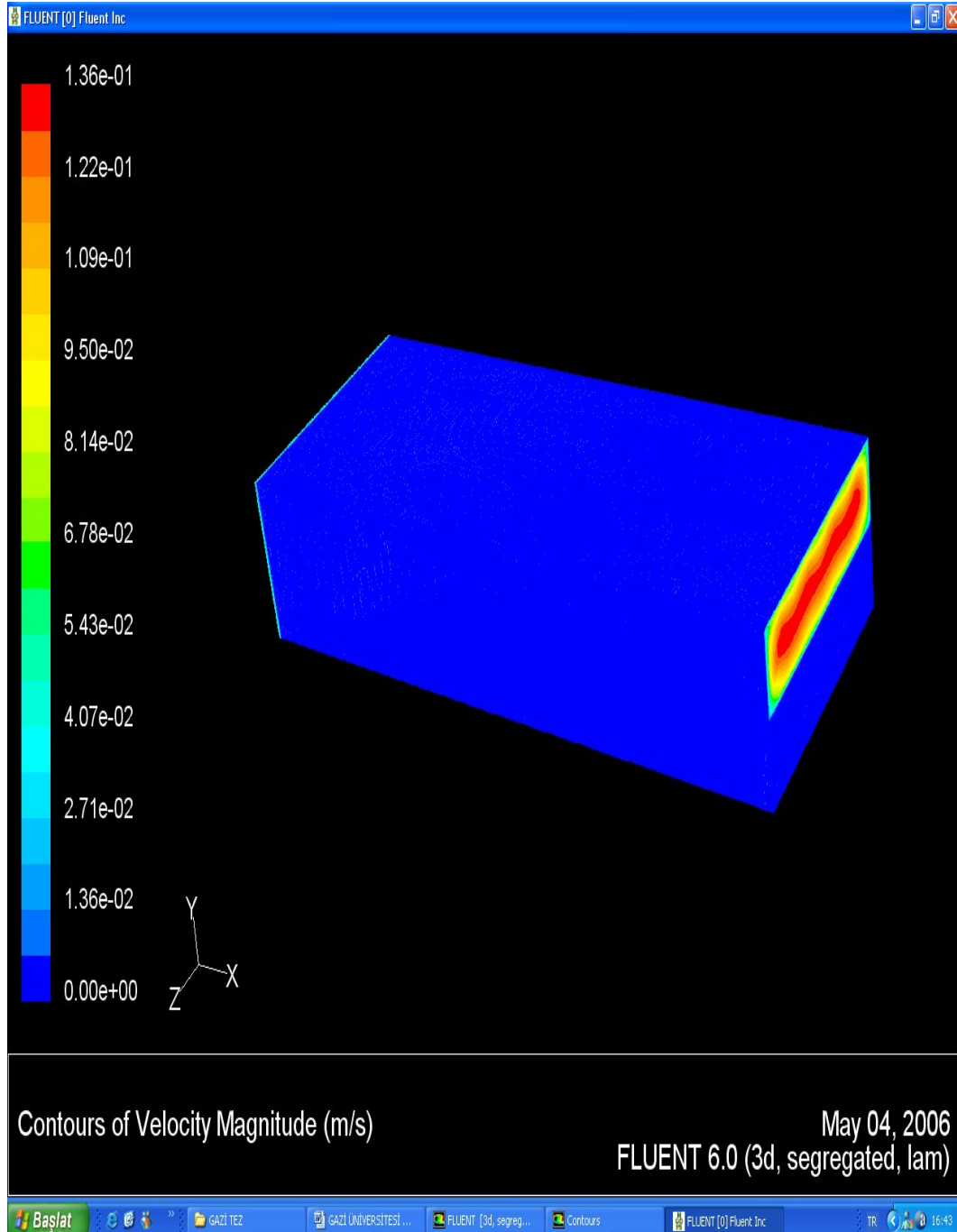
Şekil 1.26. Çözümün görüntülenmesi 1

## EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



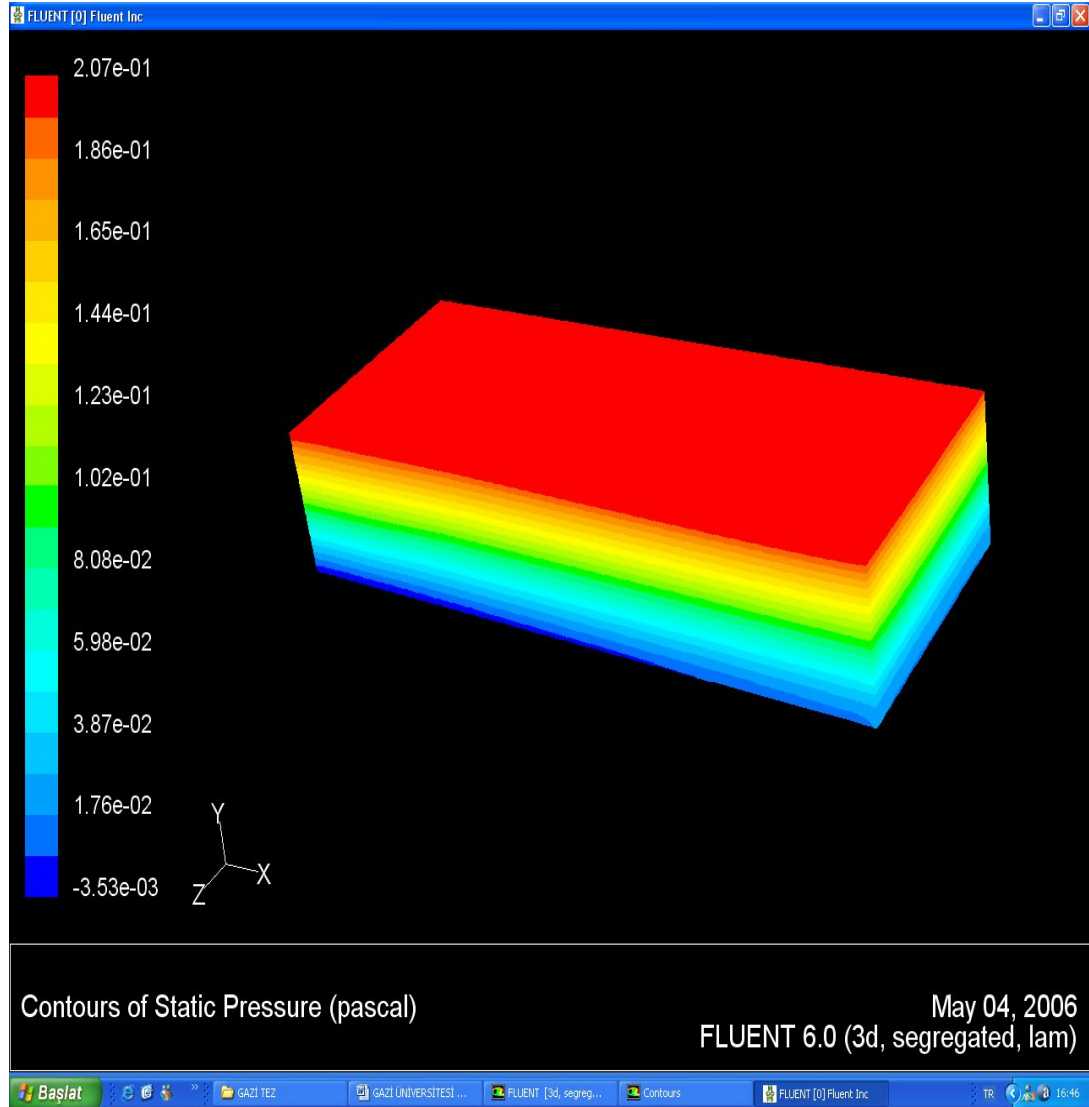
Şekil 1.27. Çözümün görüntülenmesi 2

EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



Şekil 1.28. Çözümün görüntülenmesi 3

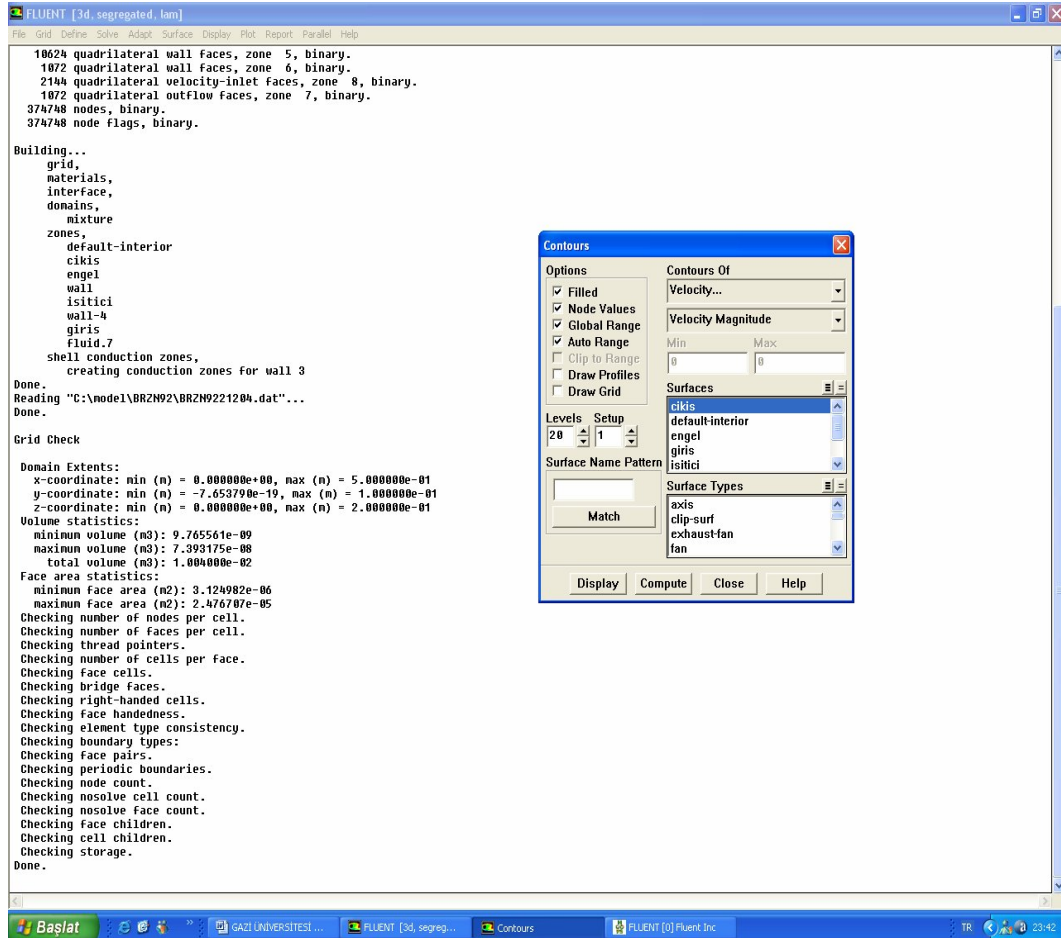
EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



Şekil 1.29. Çözümün görüntülenmesi 4

18. **Display**→**Vectors**→ kullanılarak açılan vectors penceresinde vectors of kısmında velocity seçilir, surfaces kısmında çıkış seçilir, options kısmında filled aktif hale getirilir. Display ikonuna tıklanarak görüntü alınır. Görüntü ekrandaki hğaldedir. Vectors penceresi close ikonuna tıklanarak kapatılır.

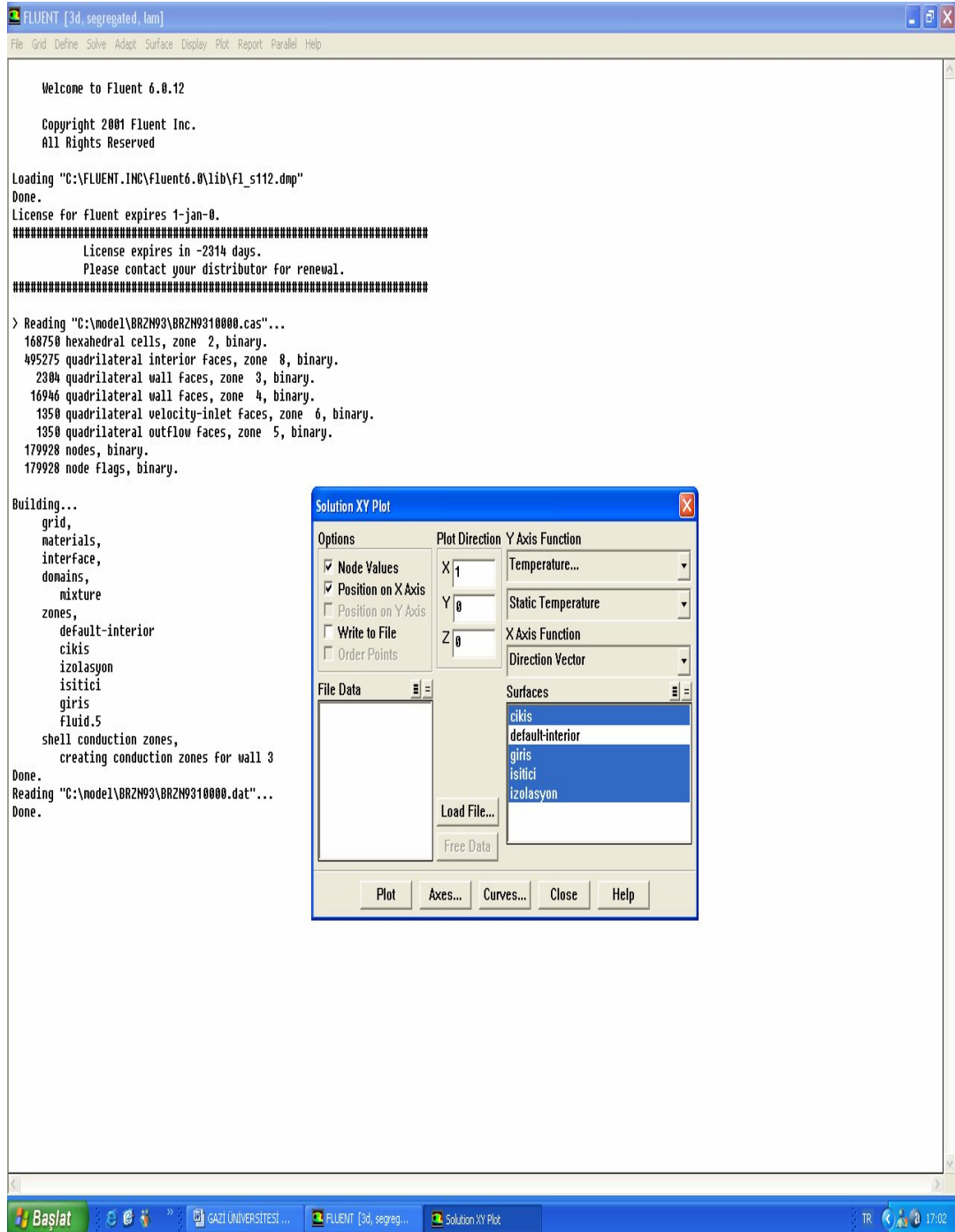
## EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



Şekil 1.30. Çözümün görüntülenmesi 5

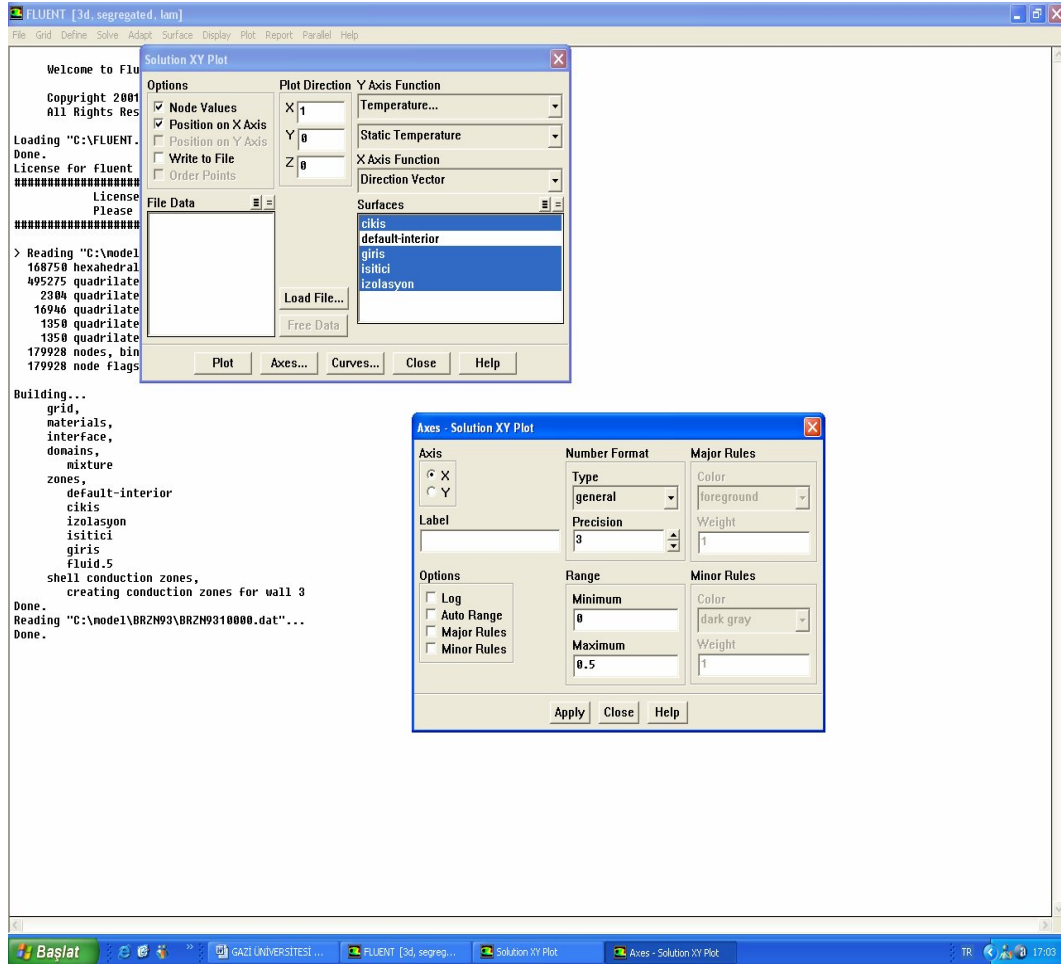
**Plot →XY Plot...** kullanılarak açılan solution XY plot penceresinde y axis fonksiyon kısmında temperature seçilir, surfaces kısmında default-interior seçilir. Axes ikonuna tıklanır, açılan axes-solution XY Plot penceresinde auto range inaktif duruma getirilir ve minimum karşısına ..... maksimum karşısına ..... değeri klavyeden girilir apply ikonuna tıklanır ve axes-solution XY Plot penceresi close ikonuna tıklanarak kapatılır. Solution XY plot penceresinde plot ikonuna tıklanır ekrana sıcaklık dağılımını gösteren grafiğin yer aldığı pencere açılır. Solution XY plot penceresi close ikonuna tıklanarak kapatılır.

## EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



Şekil 1.31. Çözümün görüntülenmesi 6

## EK-1(Devam): Yapılan Çalışmanın Gambitte Modellenmesi ve Fluent' de Çözülmesi



Şekil 1.32. Çözümün görüntülenmesi 7

**File** → **Write** → **case&data** → kullanılarak açılan select file penceresinde herhangi bir değişiklik yapılmadan ok ikonuna tıklanarak default\_id.cas ve default\_id.dat isimli dosyaların kaydedilmeleri sağlanır, fakat default\_id.cas mevcut olduğundan bir warning penceresi açılacak mevcudun üzerine kayıt yapmak istediğimizden emin olup olmadığımızın teyidi istenecektir. Warning penceresinde ok ikonuna tıklarız.

**File** → **exit** kullanılarak fluent programından çıkılır.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BEZEK, Berzan  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 27.03.1979 Ankara  
 Medeni hali : Bekar  
 Telefon : 0 (312) 472 31 88  
 Faks : 0 (318) 225 49 43  
 e-mail : [berzanbezek@hotmail.com](mailto:berzanbezek@hotmail.com).

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Makine Müh. Bölümü	
Lisans	Fırat Üniversitesi/ Makine Müh. Bölümü	2003
Lise	Ayrancı Lisesi	1996

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2003-2006	Kırgaz Doğalgaz A.Ş	İşletme Müdürü

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Tenis, Bilgisayar teknolojileri, Futbol