

**BİR YÜZEYİNDE BLOKLAR BULUNAN YATAY YAMUK KESİTLİ KANAL
İÇİNDEKİ LAMİNER ZORLANMIŞ KONVEKSİYON ISI TRANSFERİNİN
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Feyza GÜNBEY KIVRIK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2010
ANKARA**

Feyza GÜNBEY KIVRIK tarafından hazırlanan “Bir yüzeyinde bloklar bulunan yatay yamuk kesitli kanal içindeki laminar zorlanmış konveksiyon ısı transferinin sayısal olarak incelenmesi” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yard.Doç.Dr. Oğuz TURGUT

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Haşmet TÜRKOĞLU

.....

Makine Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Yard.Doç.Dr. Oğuz TURGUT

.....

Makine Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Prof.Dr. Ö. Murat DOĞAN

.....

Kimya Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Tarih :/...../.....

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof.Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Feyza GÜNBEY KIVRIK

**BİR YÜZEYİNDE BLOKLAR BULUNAN YATAY YAMUK KESİTLİ KANAL
İÇİNDEKİ LAMİNER ZORLANMIŞ KONVEKSİYON ISI TRANSFERİNİN
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Feyza GÜNBEY KIVRIK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Şubat 2010**

ÖZET

Bu çalışmada, içerisinde bloklar bulunan yamuk kesitli kanal içindeki laminar zorlanmış konveksiyon ısı transferi üç boyutlu, kararlı rejim, sabit yüzey sıcaklığı ve periyodik akış şartlarında sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışma Ansys Fluent 6.3.26 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Akış geometrisi ve ağ yapısının oluşturulmasında Ansys Gambit 2.3.16 paket programı kullanılmıştır.

Sayısal çalışma Reynolds sayısının 100 – 500 arasındaki değerleri için yapılmıştır. Akışkan olarak hava ($Pr \cong 0.7$) kullanılmıştır. Sayısal çalışma taban kesiti $6 \times 6 \text{ mm}^2$ ve yükseklikleri 4, 5, 6, 7 ve 8.5 mm olan beş farklı blok için gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar ortalama Nusselt sayısının ve ortalama Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi şeklinde $Nu_m = Nu_0 - 0.028 Re^{0.516}$ ve $f = 62.42 Re^{0.832}$ ampirik bağıntılar ile sunulmuştur.

Bilim Kodu : 914.1.065
Anahtar Kelimeler : Laminer zorlanmış konveksiyon, yamuk kesitli kanal, Ansys Fluent
Sayfa Adedi : 153
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Oğuz TURGUT

**NUMERICAL INVESTIGATION OF LAMINAR FORCED CONVECTION
HEAT TRANSFER IN HORIZONTAL TRAPEZOIDAL CHANNEL HAVING
BAFFLES ON IT'S ONE SURFACE
(M. Sc. Thesis)**

Feyza GÜNBAY KIVRIK

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
February 2010**

ABSTRACT

In this study, laminar forced convection heat transfer inside the duct having trapezoidal cross section and baffles on it's one surface has been investigated numerically under three dimensional, steady-state, constant surface temperature and periodic flow conditions. Numerical solution has been carried out using commercial CFD code Ansys Fluent 6.3.26. Flow domains and computational meshes were created using Ansys Gambit 2.3.16 package program.

Numerical study has been performed for Reynolds number range of $100 \leq Re \leq 500$. Air ($Pr \cong 0.7$) is used as working fluid. Numerical studies have been carried out for five different blocks having bottom surface area of $6 \times 6 \text{ mm}^2$ and heights of 4, 5, 6, 7, and 8.5 mm. The results were presented in terms of average Nusselt number and average Darcy friction factor as a function of Reynolds number in the form of $Nu_m = Nu_0 - 0.028 Re^{0.516}$ and $f = 62.42 Re^{0.832}$.

Science Code : 914.1.065
Key Words : Laminar forced convection, trapezoidal cross-section duct, Ansys Fluent
Page Number : 153
Adviser : Assist. Prof. Oğuz TURGUT

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım esnasında kıymetli desteği ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Yrd. Doç. Dr. Oğuz TURGUT'a ve yardımlarını aldığım Arş. Gör. Kamil ARSLAN'a teşekkür ederim. Ayrıca yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini esirgemeyen eşim Şenol KIVRIK'a, maddi ve manevi fedakarlıkları ile iyi bir eğitim almamı sağlayan anneme ve babama teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Isı Geçişi ve Laminer Akış.....	3
2.LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	5
3.SAYISAL ÇALIŞMA.....	12
3.1.Giriş.....	12
3.2. Temel Denklemler ve Sınır Şartları.....	17
3.3. Çözüm Metodu.....	22
3.4. Sayısal Çalışmada Kullanılan Paket Programın Özellikleri.....	24
3.4.1. Ansys Gambit 2.3.16.....	24
3.4.2. Ansys Fluent 6.3.26.....	25
3.5. Sayısal Çalışmada Kullanılan Kanallar.....	29
3.5.1. İçerisinde blok bulunmayan kanal için yapılan sayısal çalışma.....	29
3.5.2. İçerisinde bloklar bulunan kanal için yapılan sayısal çalışma	30
4. SAYISAL ÇALIŞMA SONUÇLARI.....	33
4.1. İçerisinde Blok Bulunmayan Kanal İçin Yapılan Sayısal Çalışma Sonuçları.....	33
4.2. İçerisinde 6x6x4 mm'lik Bloklar Bulunan Kanal İçin Yapılan Sayısal Çalışma Sonuçları	42
4.3. İçerisinde 6x6x5 mm'lik Bloklar Bulunan Kanal İçin Yapılan Sayısal Çalışma Sonuçları	73

Sayfa

4.4. İçerisinde 6x6x6 mm'lik Bloklar Bulunan Kanal İçin Yapılan Sayısal Çalışma Sonuçları	89
4.5. İçerisinde 6x6x7 mm'lik Bloklar Bulunan Kanal İçin Yapılan Sayısal Çalışma Sonuçları	106
4.6. İçerisinde 6x6x8.5 mm'lik Bloklar Bulunan Kanal İçin Yapılan Sayısal Çalışma Sonuçları	123
4.7. Blok Yüksekliğinin Etkisi.....	140
5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	148
KAYNAKLAR.....	150
ÖZGEÇMİŞ.....	153

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge

Sayfa

Çizelge 4.1. Sayısal sonuçların literatür ile kıyaslanması.....35

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Yamuk kesitli kanalın görünüşü.....	13
Şekil 3.2. Yamuk kesitli kanalın kesit görünüşü.....	14
Şekil 3.3. Yamuk kesitli kanal içerisindeki blokların (a) konumunun, (b) ölçülerinin görünümü.....	15
Şekil 3.4. Yamuk kesitli kanal kesitinin simetrik görünüşü.....	16
Şekil 3.5. Yamuk kesitli kanal içerisinde blokların simetrik görünüşü.....	17
Şekil 3.6. Sınır şartlarının çalışma alanındaki görünüşü.....	20
Şekil 3.7. Yamuk kesitli kanalın ağ yapısının görünüşü.....	23
Şekil 3.8. Yamuk kanal içerisinde 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durum için yapılan mesh optimizasyonu.....	24
Şekil 3.9. Yamuk kesitli kanalın bloksuz durumunun (a) genel görünümü, (b) kesit görünümü.....	30
Şekil 3.10. Yamuk kesitli kanal içerisinde blokların yerleşiminin görünüşü.....	31
Şekil 4.1. Kanal içerisindeki yerel Nusselt sayısının kanal boyunca değişimi.....	33
Şekil 4.2. fRe değerlerinin kanal boyunca değişimi	34
Şekil 4.3. Kanal içerisindeki ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi	35
Şekil 4.4. Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi.....	36
Şekil 4.5. Simetri düzleminde ($z=0$) ve farklı x -mesafelerinde kanal yüksekliği boyunca hız büyüklükleri: (a) $Re=100$, (b) $Re=800$	37
Şekil 4.6. $Re=800$ için farklı kesitlerde y - z düzlemleri üzerindeki hız dağılımları: (a) $x/D_h=2.4$, (b) $x/D_h=12.0$, (c) $x/D_h=24.0$, (d) $x/D_h=36.1$, (e) $x/D_h=48.1$, (f) $x/D_h=55.3$	39

Şekil	Sayfa
Şekil 4.7. Farklı Reynolds sayıları için $x/D_h=2.4$ 'de y-z düzlemindeki hız dağılımları: (a) $Re=100$, (b) $Re=500$, (c) $Re=800$	40
Şekil 4.8. $Re=800$ için farklı y-z düzlemleri üzerindeki sıcaklık dağılımları: (a) $x/D_h=2.4$, (b) $x/D_h=12.0$, (c) $x/D_h=24.0$, (d) $x/D_h=36.1$, (e) $x/D_h=48.1$, (f) $x/D_h=55.3$	41
Şekil 4.9. $x/D_h=2.4$ 'de farklı Reynolds sayıları için y-z düzlemi üzerindeki sıcaklık dağılımları: (a) $Re=100$, (b) $Re=500$, (c) $Re=800$	42
Şekil 4.10. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 4$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	43
Şekil 4.11. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 4$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi.....	44
Şekil 4.12. $Re=100$ için $z=0$ m'de simetri ekseninde kanal giriş ve çıkış kesiti yakınındaki boyutsuz sıcaklığın boyutsuz kanal yüksekliği boyunca değişimi	45
Şekil 4.13. $Re=100$ için $z=0$ m'de simetri ekseninde kanal giriş ve çıkış kesitindeki hız profilleri	46
Şekil 4.14. $Re=300$ için $z=0$ m'de simetri ekseninde boyutsuz sıcaklığın boyutsuz kanal yüksekliği boyunca değişimi	46
Şekil 4.15. $Re=300$ için $z=0$ m'de simetri ekseninde kanal giriş ve çıkış kesitindeki hız profilleri	47
Şekil 4.16. $Re=500$ için $z=0$ m'de simetri ekseninde boyutsuz sıcaklığın boyutsuz kanal yüksekliği boyunca değişimi.....	48
Şekil 4.17. $Re=500$ için $z=0$ m'de simetri ekseninde kanal giriş ve çıkış kesitindeki hız profilleri	48
Şekil 4.18. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 4$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için giriş kesitindeki hız konturu	49
Şekil 4.19. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 4$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için kanal giriş kesitindeki sıcaklık konturu	51

Şekil	Sayfa
Şekil 4.20.	Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için kanal giriş kesitindeki hız vektörleri 53
Şekil 4.21.	Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m kesitinden geçen düzlemdeki hız konturu 55
Şekil 4.22.	Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları 57
Şekil 4.23.	Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m mesafedeki hız vektörleri 59
Şekil 4.24.	Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinden geçen düzlemdeki hız konturu 61
Şekil 4.25.	Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları 63
Şekil 4.26.	Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için çıkış kesitindeki hız konturları.....65
Şekil 4.27.	Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için kanal çıkış kesitindeki sıcaklık konturları 67
Şekil 4.28.	Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki hız vektörlerinin farklı Reynolds sayıları için görünümü 69
Şekil 4.29.	Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki sıcaklık konturlarının farklı Reynolds sayıları için görünümü 71
Şekil 4.30.	Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi 73

Şekil	Sayfa
Şekil 4.31. Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi	74
Şekil 4.32. Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında giriş kesitindeki sıcaklık konturları	75
Şekil 4.33. Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m düzlemindeki hız konturları	77
Şekil 4.34. Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları	78
Şekil 4.35. Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında $x=0.4$ m uzaklıktaki kesitteki hız konturları.....	80
Şekil 4.36. Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları.....	82
Şekil 4.37. Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında kanal çıkış kesitindeki sıcaklık konturları.....	84
Şekil 4.38. Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki hız vektörlerinin farklı Reynolds sayıları için görünümü	86
Şekil 4.39. Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki sıcaklık konturlarının farklı Reynolds sayıları için görünümü	88
Şekil 4.40. Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	90
Şekil 4.41. Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi	91

Şekil	Sayfa
Şekil 4.42. Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için kanal girişindeki sıcaklık konturları	92
Şekil 4.43. Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m'lik mesafede z-y düzlemindeki hız konturları	94
Şekil 4.44. Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları.....	95
Şekil 4.45. Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $x=0.4$ m'lik mesafede oluşturulan z-y düzlemindeki hız konturları.....	97
Şekil 4.46. Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları	98
Şekil 4.47. Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında kanal çıkış kesitindeki sıcaklık konturları.....	100
Şekil 4.48. Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki hız vektörlerinin farklı Reynolds sayıları için görünümü	102
Şekil 4.49. Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki sıcaklık konturlarının farklı Reynolds sayıları için görünümü	104
Şekil 4.50. Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	107
Şekil 4.51. Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi	108
Şekil 4.52. Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında kanal giriş kesitinde z-y düzlemindeki sıcaklık konturları.....	109

Şekil	Sayfa
Şekil 4.53. Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m mesafede oluşturulan y-z düzlemindeki hız konturları.....	111
Şekil 4.54. Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları	112
Şekil 4.55. Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m mesafede oluşturulan y-z düzlemindeki hız konturu	114
Şekil 4.56. Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları.....	115
Şekil 4.57. Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için kanal çıkış kesitinde z-y düzlemindeki sıcaklık konturları.....	117
Şekil 4.58. Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki hız vektörlerinin farklı Reynolds sayıları için görünümü.....	119
Şekil 4.59. Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki sıcaklık konturlarının farklı Reynolds sayıları için görünümü.....	121
Şekil 4.60. Kanal içerisine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	124
Şekil 4.61. Kanal içerisine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi.....	125
Şekil 4.62. Kanal içerisine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında giriş kesitinde oluşturulan z-y düzlemindeki sıcaklık konturları.....	126
Şekil 4.63. Kanal içerisine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m mesafede oluşturulan z-y düzlemindeki hız konturları.....	128

Şekil	Sayfa
Şekil 4.64. Kanal içerisine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları.....	129
Şekil 4.65. Kanal içerisine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m mesafede oluşturulan z-y düzlemindeki hız konturları.....	131
Şekil 4.66. Kanal içerisine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinde oluşturulan z-y düzlemindeki sıcaklık konturları.....	132
Şekil 4.67. Kanal içerisine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında çıkış kesitindeki sıcaklık konturları.....	134
Şekil 4.68. Kanal içerisine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki hız vektörlerinin farklı Reynolds sayıları için görünümü.....	136
Şekil 4.69. Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki sıcaklık konturlarının farklı Reynolds sayıları için görünümü.....	138
Şekil 4.70. Bütün durumlar için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	141
Şekil 4.71. Bloklı durum için ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi	142
Şekil 4.72. Bloklı ve bloksuz durumları kapsayacak şekilde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi	143
Şekil 4.73. Bütün durumlar için Darcy sürtünme faktörünün Reynolds Sayısı ile değişimi	144
Şekil 4.74. Bloklı durum için ortalama Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi	145
Şekil 4.75. Bloksuz ve bloklı durumları kapsayacak şekilde ortalama Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi	146
Şekil 4.76. Farklı bloklar için blok performansının Reynolds sayısı ile değişimi.....	147

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile beraber aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Kanal yüzey alanı, m^2
A_K	Kanal kesit alanı, m^2
C_P	Sabit basınçta özgül ısı, J/kg.K
D_h	Hidrolik çap, m
f	Ortalama Darcy sürtünme faktörü
h_x	Yerel ısı taşınım katsayısı, W/ $m^2.K$
h_m	Ortalama ısı taşınım katsayısı, W/ $m^2.K$
k	Isı iletim katsayısı, W/ m.K
L	Kanal boyu, m
Nu_m	Ortalama Nusselt sayısı
P	Basınç, Pa
Pr	Prandtl sayısı
Re	Reynolds sayısı
T_b	Kanal içindeki ortalama akışkan sıcaklığı, K
T_w	Kanal duvar sıcaklığı, K
T_∞	Dış ortam sıcaklığı, K
u_∞	Serbest akış şartlarında akışkan hızı, m/s
v	Kanal içerisindeki ortalama akışkan hızı, m/s
x,y	Kartezyen koordinatlar, m
μ	Dinamik viskozite, kg/m.s
ΔP	Kanal giriş ve çıkışı arasındaki basınç kaybı, Pa
ΔT	Sıcaklık farkı, K
ΔT_{ln}	Logaritmik ortalama sıcaklık farkı, K

Simgeler**Açıklama** ΔT_g

Giriş kesitinde kanal duvarı ile akışkan sıcaklığı arasındaki fark, K

 $\Delta T_ç$

Çıkış kesitinde kanal duvarı ile akışkan sıcaklığı arasındaki fark, K

 ρ

Akışkanın yoğunluğu, kg/m^3

 ν

Kinematik viskozite, m^2/s

Kısaltmalar**Açıklama** $\mathcal{C}$

Kanal çıkışı

 g

Kanal girişi

 w

Duvar

1.GİRİŞ

Dünyadaki teknolojik gelişmelere paralel olarak enerji ihtiyacı da her geçen gün artmaktadır. Bu ihtiyaç karşısında insanoğlu petrol, kömür ve doğal gaz gibi mevcut enerji kaynaklarını hızla tüketmeye devam etmektedir. Bahsedilen fosil yakıtların oluşumları milyonlarca yıl sürmekte ve dünya nüfusunun sürekli artan enerji talebi karşısında rezervlerin tükeneceği öngörülmektedir.

Bu gerçekler karşısında farklı enerji kaynakları arayışı kaçınılmaz olmuştur. Böylelikle yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik enerjisi, bioenerji, hidrojen enerjisi, dalga enerjisi ve rüzgar enerjisi gibi alternatiflerden daha çok yararlanmak için çalışmalar sürdürülmektedir. Enerjinin üretilmesi kadar en yüksek verimle kullanılmasının da öneminin anlaşılmasıyla, ısı geçişinde iyileştirme sağlamak amacıyla çalışmalar yürütülmekte ve sistemlerin verimini artırabilmek maksadıyla ayrıntılı ısı analizler gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, enerjinin verimli kullanılması çevre kirliliğini azaltmak açısından da gittikçe önem kazanmaktadır.

Mühendisliğin bir çok dalında belirli bir sıcaklık farkında, sıcaklık dağılımının ve birim alandaki ısı geçişinin hesaplanması gerekir. Sanayideki pek çok sistemin verimli çalışabilmesi için ısı enerjisinin ortamdaki uzaklaştırılması şarttır. Isı enerjisinin bir ortamdaki transferi için ısı değiştiricileri kullanılır.

Enerji kullanımında verimliliği sağlayabilmek için ısı değiştiricilerindeki ısı transferini de mümkün olduğunca artırmak gerekir. Bu amaçla, kanal içerisindeki ısı transferi konusunda çok sayıda çalışma yapıldığı gözlenmektedir.

Isı değiştiricilerinin kullanım amacına ve kullanım yerine göre değişik tipleri mevcuttur. Pratik kullanımda mükemmel ısı transferi yeteneğine karşın, ısı değiştiricinin fazla yer kaplaması arzu edilmez. Bu nedenle imalatçılar ısı

değiştiricilerini olabildiğince küçük boyutlarda üretmek isterler. Bunun için de farklı kesitlere sahip ısı değıştiriciler konusunda her geçen gün yeni çalışmalar yapılmaktadır.

Kompakt ısı değıştiricileri öne çıkan avantajları nedeniyle gittikçe daha yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu avantajların başlıcaları; ısı transferinin yüksek, boyutlarının küçük, ağırlıklarının az ve üretim maliyetlerinin fazla olmamasıdır. Elbetteki bu özellikler ısı değıştiricinin kanal geometrisine doğrudan bağılıdır.

Isı değıştiricilerinde dairesel kesitli kanalların yanı sıra dairesel olmayan kesitli kanallarda sıklıkla kullanılmaktadır. Yamuk kesitli kanallar da özellikle kompakt ısı değıştiricilerinde kullanılırlar. Yamuk kesitli kanallar diğerk yandan elektronik cihazların soğutma sistemleri, nükleer reaktörler, gaz türbinlerinin soğutma sistemleri, ısı pompaları ve klimalar gibi endüstriyel alanlarda kullanılırlar.

Yamuk kesitli kanal kullanılan ısı değıştiricilerinde kanal çapının oldukça küçük olmasına karşılık kanal uzunluğu oldukça büyüktür ve kanal içerisinde laminar akış gözlenmektedir.

Kompakt ısı değıştiriciler kullanımlarında sabit yüzey ısı akısı veya sabit yüzey sıcaklığı sınır şartlarında çalışırlar.

Isı transferini artırmak için ise ısı değıştiricilerinde, ısı transfer katsayısı düşük olan kısımda genişletilmiş yüzeyler yani engeller kullanılır. Bu engeller ilave yüzey alanı sağlayarak ısı transferinin artmasını sağlarlar.

Gerçekleştirilen bu çalışmada, sabit yüzey sıcaklığı sınır şartında içerisinde bloklar bulunan yamuk kesitli kanal içerisindeki laminar akış karakteristikleri periyodik akış şartlarında sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışmanın gerçekleştirilmesinde akışkan olarak hava ($Pr \cong 0.7$) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda yamuk kesitli kanal içerisindeki blokların yüksekliği ve Reynolds

sayısının (Re) değişimleri için ortalama Nusselt sayısı (Nu_m) ve ortalama Darcy sürtünme faktörü (f) değerleri belirlenmiştir.

1.1. Isı Geçişi ve Laminer Akış

Bir sistemde ısı geçişi ışıınım, iletim ve taşıınım şeklindeki ısı geçişlerinden biri veya birkaçı ile geręekleřebilir.

ışıınım ile olan ısı transferinde bir cismi meydana getiren elemanter taneciklerin ısı hareketi, elektromagnetik ışıma şeklinde enerji yaymalarına sebep olur. Sıcaklığın artmasıyla, taneciklerin hareketi böylelikle ışımanın şiddeti artar.

İletim ile ısı transferinde, bir ortamdaki bölgeler arasında veya direkt fiziksel temas halinde olan farklı ortamlar arasında, moleküllerin fark edilebilir bir hareketi olmaksızın bunların doğrudan teması sonucu ısı geçişi geręekleřir.

Taşıınım ile olan ısı geçişi, bir yüzey ve bu yüzey üzerinde hareket eden akışkan arasındaki enerji aktarımı olarak tanımlanır. Taşıınım ile ısı transferi doğa ve zorlanmış taşıınım olmak üzere iki şekilde geręekleřir.

Doğal taşıınımda fan veya pompa gibi akışı yönlendirecek herhangi bir zorlayıcı etken kullanılmaz. Doğal taşıınım da ısınan akışkan yukarı doğru hareket ederek yükselir, buna karşın soğuk akışkan aşağı doğru hareket etme eğilimindedir. Yani akış, akışkan içindeki sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan yoğunluk farkından doğan kaldırma kuvvetlerinden etkilenir. Sonuç olarak, ısı transferi fan veya pompa gibi bir dış etken olmadan akışkan içindeki sıcaklık değişimi sonucunda meydana gelir.

Zorlanmış taşıınım da ise basınç farkı nedeniyle akışkan hareketi geręekleřir. Akış, zorlanmış konveksiyonda bir dış etki ile oluşur. Bu etki bir pompa veya fan olabilir.

Akışkan, etkisinde kaldığı çeşitli gerilimler sonucunda akarken laminar veya türbülanslı olmak üzere iki farklı davranış gösterebilir. Laminer bölge içerisinde akışkan hareketleri oldukça düzenlidir. Akışkan molekülleri akışkan çizgileri boyunca hareket ederler. Türbülanslı bölgede ise akışkan hareketleri düzensizdir.

Bir akışın laminar veya türbülanslı olduğunu belirleyebilmek için Reynolds sayısı (Re) kullanılır. Kanal içerisindeki akışlar için $Re < 2300$ olduğunda akış laminar ve $Re > 2300$ olduğunda ise akışın türbülanslı olduğu kabul edilir. Reynolds sayısı şu şekilde hesaplanır:

$$Re = \frac{\rho U D_h}{\mu} \quad (1.1)$$

Burada; ρ (kg/cm^3) olup akışkan yoğunluğu, u (m/s) olup kanal içerisindeki ortalama akışkan hızı, μ (kg/m.s) olup akışkanın dinamik viskozitesi ve D_h (m) olup kanal hidrolik çapıdır. Kanal hidrolik çapı ise şu şekildedir:

$$D_h = \frac{4A_c}{C} \quad (1.2)$$

Burada; A_c (m^2) olup kanal kesit alanı ve C (m) olup ıslak çeper çevre uzunluğudur.

2.LİTERATÜR İNCELEMESİ

Literatür incelendiğinde, kanal içindeki zorlanmış konveksiyonla ilgili deneysel ve nümerik çalışmalar olduğu görülmüştür. Bu çalışmalar ana hatlarıyla aşağıda özetlenmiştir.

Shah (1975), farklı kesitli kanallardaki tam gelişmiş laminar akış için hidrodinamik ve ısı olarak tam gelişmiş akış karakteristiklerini nümerik olarak incelemiştir [1]. Bu kanallar: a- geometrik olmayan, keyfi, b- ikizkenar üçgen, c- köşeleri yuvarlatılmış eşkenar üçgen, d- sinüs eğrisi formunda, e- paralel kenar, f- yamuk kesitlere sahiptir. Bu kanalların farklı boyutları için Darcy sürtünme faktörünün ve Nusselt sayısının değerlerini vermiştir. Kanal köşe açısındaki değişimin kanal içerisindeki akış şartlarını değiştirdiği tespit edilmiştir.

Kare, yamuk ve beşgen kesitli kanallardaki Newtonsel olmayan akışkan için laminar akış ve ısı transferini Lawal ve Mujumdar (1985), üç boyutlu olarak sayısal bir çalışmada incelemişlerdir [2]. Çalışmalarında, yamuk ve beşgen kesitli kanal boyunca, yerel Nusselt sayısının değişiminin grafiklerini vermişlerdir.

Aparecido ve Cotta (1987), yapmış oldukları nümerik çalışmada, yamuk kesitli kanallar içerisindeki tam gelişmiş şartlardaki zorlanmış konveksiyonla gerçekleşen laminar akışı integral transform tekniğini kullanarak incelemişlerdir [3]. Çalışmalarının sonucunda yamuk kesitli kanalın çeşitli köşe açıları (85° , 75° , 60° , 45° ve 30°) için ısı transferi karakteristiklerini sunmuşlardır.

Sayısal bir çalışmada Rokni ve Sunden (1998), dalgalı konumdaki yamuk kesitli kanaldaki, tam gelişmiş türbülanslı akış ve zorlanmış konveksiyonla ısı transferini üç boyutlu olarak incelemişlerdir [4]. Çalışmalarının sonucunda Nusselt sayısı ve sürtünme faktöründeki değişimleri belirlemişlerdir.

Yamuk ve altıgen kesitli kanalların farklı köşe açıları için sabit sıcaklık ve sabit ısı akısı sınır şartlarında tam gelişmiş laminar akış, Sadasivam ve arkadaşları (1999), tarafından yapılan nümerik bir çalışmada incelenmiştir [5]. Çalışmada sonlu farklar metodu kullanılmıştır. Yamuk ve altıgen kesitli kanalların tam gelişmiş zorlanmış konveksiyon şartlarındaki akış karakteristikleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda kanal içerisindeki Nusselt sayısının ve sürtünme faktörünün kanal geometrisine bağlı olduğu belirlenmiştir.

Deneysel bir çalışmada Hwang ve Lui (1999), içerisine dairesel kesitli bloklar yerleştirilmiş yamuk kesitli kanaldaki ısı transferi ve basınç düşüşünü araştırmışlardır [6]. Blokların farklı dizilişlerinin akış ve ısı transferi üzerindeki etkisini gözlemlemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, blokların çapraz dizilişinde, doğrusal dizilişlerine göre daha yüksek ısı performans sağlandığını belirlemişlerdir.

Rokni ve Gatski (1999), yapmış oldukları çalışmada, kare, dikdörtgen, yamuk ve üçgen kesitli düz ve pürüzlü yüzey şekilli kanallardaki, zorlanmış konveksiyon şartlarındaki ısı transferini araştırmışlardır [7]. Nümerik çalışmalarını üç boyutlu türbülanslı akış için sonlu hacimler yöntemiyle gerçekleştirmişlerdir. Çözümlerinde, kanal kesitlerinin simetrisinden faydalanmışlardır. Sürtünme katsayısı ve Nusselt sayısının değişimlerini çalışmalarının sonucunda grafiksel olarak sunmuşlardır.

Leung ve arkadaşları (2000), yaptıkları deneysel çalışmada, yatay konumdaki üçgen kanallardaki tam gelişmiş türbülanslı akışın zorlanmış konveksiyon ve basınç düşüş davranışlarını araştırmışlardır [8]. Çalışmalarını 2800-9500 aralığındaki Reynolds sayılarında gerçekleştirmişlerdir. Eşkenar üçgen kanalların iç yüzeyine eşit aralıklarla V şeklinde oluklar açılmış ve bu olukların değişik tepe açıları için ($0^\circ \leq \theta \leq 150^\circ$) deneyler yapılmıştır. Zorlanmış konveksiyondaki artışın olukların tepe açısının $17,5^\circ$ olduğu durumda en yüksek değere ulaştığı belirtilmiştir.

Chen ve arkadaşları (2000) tarafından yapılan çalışmada, düzgün yüzeyli eşkenar üçgen kanalın farklı tepe açıları için (15° , 30° , 60° , 90°) tam gelişmiş laminar akışın nümerik analizi yapılmıştır [9]. Yaygın olarak kullanılan dikdörtgensel grid yerine, bu çalışmada üçgensel grid tercih edilmiştir. Nusselt sayısının ve sürtünme faktörünün üçgen kanalın tepe açısına önemli ölçüde bağlı olduğu görülmüştür.

Yapılan deneysel çalışmada Leung ve arkadaşları (2001), iç yüzeyleri boyunca kare kesitli engeller yerleştirilmiş üçgen kanaldaki zorlanmış konveksiyon ve sürtünme karakteristiklerini araştırmışlardır [10]. Eşkenar üçgen kesitli kanal içerisine uniform olarak kare parçacıklar yerleştirilmiş ve kanal duvarına sabit yüzey ısı akısı uygulanmıştır. Deneyler 3100 den 11300 e kadar değişen Reynolds sayıları için yapılmıştır. Darcy sürtünme faktörünün engel büyüklüğü ile orantılı olarak arttığı ve zorlanmış konveksiyonun engelli yüzeyler tarafından geliştirilebildiği belirlenmiştir. Bununla beraber ısı transferinin geliştirilmesinin engel büyüklüğü ile orantılı olmadığı görülmüştür.

Leung ve arkadaşları (2001) tarafından yapılan deneysel çalışmada yatay eşkenar üçgen kanallardaki hidrodinamik olarak tam gelişmiş türbülanslı akışın zorlanmış konveksiyonla ısı transferi davranışları incelenmiştir [11]. Deneyler 4000-15000 aralığındaki Reynolds sayılarında yapılmıştır. Üçgen kanallardan birinin iç yüzeyi işlenerek pürüzler oluşturulmuştur. Aynı uzunluk ve hidrolik çaptaki üçgen kanalın iç yüzeylerine ise eşit aralıklarla kare kesitli bloklar yerleştirilmiştir. Kanalların ısı performansını karşılaştırıldığında ortalama Nusselt sayısındaki artışın 6.35 mm lik kare kesitli blokların yerleştirildiği durumda en yüksek olduğu gözlenmiştir.

Deneysel çalışmalarında Hwang ve Lu (2002), içerisine bloklar yerleştirilmiş yamuk kesitli kanaldaki basınç düşüşü ve ısı transferini incelemişlerdir [12]. Yamuk kesitli kanal içerisine dairesel kesitli bloklar beş sıra ve beş sütun halinde eşit aralıklarla dizilmiştir. Deneyler Reynolds sayısının 6000-40000 aralığında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, içerisine bloklar

yerleştirilmiş yamuk kesitli kanal için ortalama ısı transferi Reynolds sayısına bağlı olarak verilmiştir.

Bir başka çalışmada Wong ve Leung (2002), yatay eşkenar üçgen kanaldaki zorlanmış konveksiyon artışını saptamak amacıyla, çeşitli iç yüzeyler kullanarak deneyler yapmışlardır [13]. Bu yüzeyler : a-düz yüzey, b-pürüzlü yüzey, c-V şeklinde oluklar açılmış yüzey, d-kare bloklar yerleştirilmiş yüzeydir. 4300-15000 aralığındaki Reynolds sayılarında çalışılmıştır. En iyi ısı performansın üçgen kanalın iç yüzeyine kare kesitli blokların yerleştirildiği durumda elde edildiği belirtilmiştir.

Yaptığı deneysel bir çalışmada Şara (2003), dikdörtgen kesitli kanal içerisine kare kesitli bloklar yerleştirerek, bu blokların kanal içerisindeki basınç kaybına ve ısı transferine etkisini araştırmıştır [14]. Sonuç olarak, düşük Reynolds sayısında blokların düzensiz dizilişinin ısı performansı arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca bloklar arasındaki mesafenin azalmasının ve boylarının uzamasının kanal içerisindeki ısı transferini ve Darcy sürtünme katsayısını arttırdığı belirlenmiştir.

Luo ve arkadaşları (2004) yaptıkları deneysel çalışmada, kare kesitli engelleri yatay konumdaki eşkenar üçgen kesitli kanal içerisine yerleştirerek, engellerin ısı transferi üzerindeki etkisini incelemişlerdir [15]. Kanal içerisine yerleştirilen engellerin boylarının artmasıyla ısı transferinin arttığını fakat buna karşılık büyük basınç düşümü olduğunu belirlemişlerdir. Kanal içine yerleştirilen engelin boyu ile kanal hidrolik çapının 0.18 olduğu oranın en ideal durum olduğunu bulmuşlardır.

Nümerik çalışmalarında Tehrani ve Abadi (2004), iç yüzeyine bloklar yerleştirilmiş iki boyutlu yatay kanalın giriş kısmındaki laminar akışın nümerik araştırmasını yapmışlardır [16]. Hesaplamalar Reynolds sayısının 100 ile 500 arası, Prandtl sayısının 0.7 ve blokaj oranının 0.1, 0.2 ve 0.3 değerleri için gerçekleştirilmiştir. Blokların boyunun ve aralarındaki mesafenin Nusselt sayısı ile sürtünme katsayısına etkisini incelemişlerdir. Sabit Reynolds

sayısında bloklar arasındaki mesafenin artmasıyla Nusselt sayısında artış, sürtünme katsayısında ise düşüş olduğunu ortaya koymuşlardır.

Yamuk kesitli dalgalı kanal içerisindeki ısı transferinin, kanalın köşe açısı ile değişimini Savino ve arkadaşları (2004) nümerik olarak incelemişlerdir [17]. Sonuç olarak, Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörünün (f), kanalın köşe açısının 90° 'den 60° 'ye doğru azalması ile artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Yapmış oldukları deneysel çalışmada Igarashi ve arkadaşları (2004) paralel iki duvardan oluşan kanaldaki ısı transferi ve basınç düşüşünü incelemişlerdir [18]. Taban duvarına dairesel kesitli blokları eşit aralıklarla yerleştirerek değişik sayılarda bloklarla deneyler yapmışlar ve bunun basınç düşüşü ile ısı transferine etkisini araştırmışlardır. Sonuçları Nusselt sayısının boyutsuz bağıntıları olarak sunmuşlardır.

Başka bir çalışmada Tanda (2004), içerisine bloklar yerleştirilmiş dikdörtgen kesitli kanaldaki ısı transferini araştırmıştır [19]. Bloklar kanal içerisine sürekli, kesintili ve V şeklinde dizilmiştir. Bloklar arasındaki mesafe, blokların yüksekliği ve V şeklindeki blokların tepe açısının farklı değerleri için deneyler yapılmıştır. Çalışmalar Reynolds sayısının 8900-36000 aralığında gerçekleştirilmiştir.

Yapmış oldukları nümerik çalışmada Luo ve arkadaşları (2005) tam gelişmiş türbülanslı akışın üç boyutlu probleminin nümerik analizini iki boyutlu yaklaşımla simüle etmişlerdir [20]. Bu çalışmada akışkan: a-alt duvarına eşit aralıklarla yerleştirilmiş aynı ölçüdeki üç kare blok bulunan iki paralel plaka arasından, b-yatay konumdaki pürüzsüz iç yüzeyli eşkenar üçgen kanaldan akmaktadır. Çalışma sonucunda, iç yüzeylere eşit aralıklarla yerleştirilen blokların kanal içerisindeki zorlanmış konveksiyonu iyileştirdiğini belirlemişlerdir.

Manglik ve arkadaşları (2005) tarafından yapılan çalışmada düşük Reynolds sayılarında dalgalı kanallardaki zorlanmış konveksiyona blokların etkisi

incelenmiştir [21]. Reynolds sayısının 10-1000 aralığı için çalışılmıştır. Kanal boyunca farklı kesitlerdeki hız ve sıcaklık dağılımları belirlenmiştir.

Arslan (2005), yapmış olduğu deneysel çalışmada sabit yüzey sıcaklığındaki yamuk kesitli kanal içerisindeki türbülanslı akışı hidrodinamik olarak tam gelişmiş ısı olarak gelişmekte olan akış için incelenmiştir [22]. Akışkan olarak hava kullanılmıştır.

Lu ve Jiang (2006) yapmış oldukları çalışmada, dikdörtgen kesitli kanalın içerisine kanal duvarı ile 45° açı oluşturacak şekilde blokları eşit aralıklarla yerleştirerek zorlanmış konveksiyonla ısı transferini deneysel ve nümerik olarak araştırmışlardır [23]. Nümerik çalışmalarında FLUENT 6.1 programını kullanmışlardır. Blokların açısını ve aralarındaki mesafeyi değiştirerek yapmış oldukları denemeler sonucunda, engellerin 20° 'lik açıyla ve aralarındaki mesafenin 1-2 mm olduğu pozisyonda, dikdörtgen kanal için en iyi ısı performansın elde edildiğini belirlemişlerdir.

Başka bir nümerik çalışmada Renksizbulut ve Niazmand (2006), yamuk kesitli kanallar içerisindeki hidrodinamik ve ısı olarak gelişmekte olan sabit yüzey sıcaklığındaki laminar akış ve ısı transferini incelemişlerdir [24]. 10-1000 aralığındaki Reynolds sayıları için çözümler yapmışlardır. Yamuk kanallar için elde ettikleri sonuçlar ile kanal içerisindeki akış bölgeleri ve sıcaklık dağılımlarını sunmuşlardır.

Nümerik bir çalışmada Turgut ve arkadaşları (2009), yamuk kesitli kanal içerisindeki hidrodinamik ve ısı olarak gelişmekte olan üç boyutlu zorlanmış konveksiyon ısı transferini incelemişlerdir [25]. Çalışmalarını Reynolds sayısının 100-800 aralığında gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma sonucunda ortalama Nusselt sayıları ve sürtünme katsayılarını Reynolds sayısının fonksiyonu olarak sunmuşlardır. Ayrıca yerel Nusselt sayıları ve Fanning sürtünme faktörlerini kanal boyunca mesafenin fonksiyonu olarak vermişlerdir. Ayrıca kanal boyunca hız ve sıcaklık dağılımlarını sunmuşlardır.

Onur ve arkadaşları (2009), yapmış oldukları çalışmada sabit yüzey sıcaklığında yamuk kesitli kanal içerisindeki türbülanslı akışı hidrodinamik olarak gelişmiş ısı olarak gelişmekte olan akış için deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir [26]. Tam gelişmiş akış şartlarında ortalama Nusselt ve Darcy sürtünme faktörü değerleri verilmiştir. Ayrıca kanal içerisindeki hız ve sıcaklık profilleri ifade edilmiştir.

Akış yönünde belirli bir sıra ile kanal içine yerleştirilen engeller periyodik akış şartlarını oluşturur. Yani akış yönünde engellerin belirli bir sırasından sonra akış ve ısı transferi artık birbirini takip eder. Bu sıradan sonra kanal içerisindeki Nusselt sayısı ve sürtünme faktöründe değişim oldukça azaldığından, değişimin olmadığı kabul edilebilir. Kanalin bu bölümü dikkate alınarak tüm kanal için çözüm yapmak yerine akışın periyodik duruma geldiği kısımda belirli bir bölüm çözüm bölgesi seçilebilir.

Yapılacak olan bu çalışmada ise sabit yüzey sıcaklığında yamuk kesitli kanal içerisindeki blokların akış ve ısı transferi üzerine olan etkisi kararlı rejim şartlarında sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışmada sonlu hacimler yöntemi ile çözüm yapabilen Ansys Fluent 6.3.26 paket programı kullanılmıştır. Kanal içerisine yerleştirilen blokların yüksekliklerinin ve Reynolds sayısının akış ve ısı transferi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Akışkan olarak hava ($Pr \cong 0.7$) kullanılmıştır. Çalışma periyodik akış şartlarında üç boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir.

Tüm çalışmalar incelendiğinde değişik boyutlardaki kanal geometrileri ile çalışıldığı gözlenmiştir. Yapılan çalışmalarda akış davranışlarında Reynolds sayısı önemli bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. İncelenen çalışmalar sayısal ve deneysel yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Gün geçtikçe artan bilgisayar performansları sayesinde sayısal yöntemlerle daha hassas çözümler yapılmasının mümkün olacağı değerlendirilmektedir.

3. SAYISAL ÇALIŞMA

Bu kısımda gerçekleştirilen sayısal çalışma hakkında bilgi verilmiştir.

Öncelikle sayısal çalışmanın gerçekleştirilmesinde kullanılan temel denklemler ve uygulanan sınır şartları verilmiştir.

Daha sonra sayısal çalışmanın gerçekleştirilmesinde kullanılan paket program hakkında kısa bilgi verilmiştir.

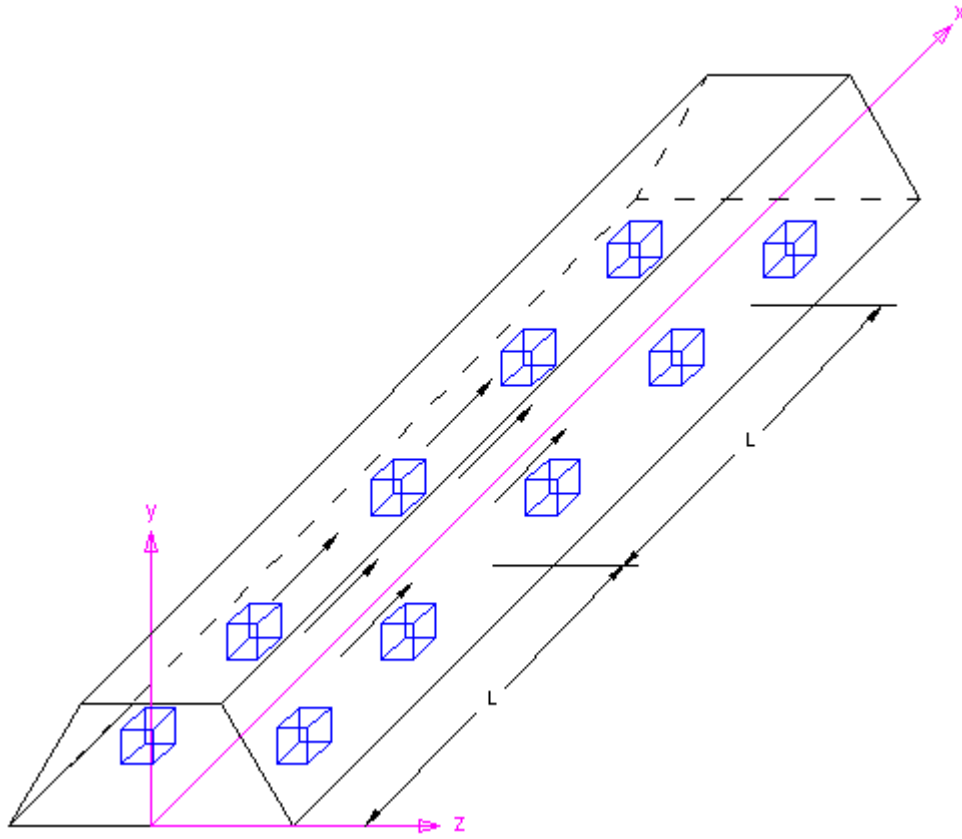
Bu bölümün son kısmında ise yamuk kesitli kanal içerisine yerleştirilen bloklar hakkında bilgi verilmiştir. Sayısal çalışma önce yamuk kesitli kanalın bloksuz durumu için gerçekleştirilmiştir. Daha sonra kanal içerisinde bulunan $6 \times 6 \text{ mm}^2$ kesit ölçüsündeki blokların beş farklı yükseklik ölçüsündeki durumu için sayısal çalışma yapılmıştır.

3.1. Giriş

Bu bölümde, sayısal çalışmada kullanılan yamuk kesitli kanal ve kanal içerisindeki blokların geometrileri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

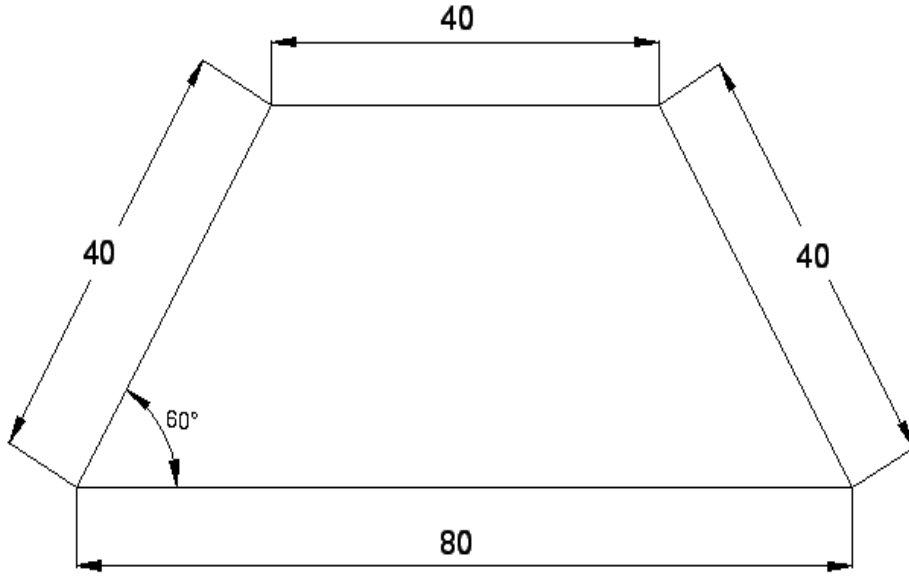
Bu çalışmada içerisine bloklar yerleştirilmiş ikizkenar yamuk kesitli kanal içerisindeki laminar akış sayısal olarak sabit yüzey sıcaklığı, periyodik akış ve kararlı rejim şartlarında üç boyutlu olarak incelenmiştir. Çözümler, Reynolds sayısının 100 ile 500 arasında değişen değerleri için yapılmıştır. Akışkan olarak hava ($Pr \cong 0.7$) kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan yamuk kesitli kanalın görünümü Şekil 3.1.' de verildiği gibidir. Akış şekilde görüldüğü gibi kanal boyunca, x-yönünde olmaktadır.



Şekil 3.1. Yamuk kesitli kanalın görünüşü

Yamuk kesitli kanalın taban kenar ölçüsü 0.08 m, yan kenarlarının ve üst kenarın ölçüleri ise 0.04 m dir. İkizkenar yamuk şeklindeki kanalın taban açısı ise 60° dir. Bu ölçüler Şekil 3.2.'de gösterilmiştir. Kanalın hidrolik çapı $D_h=0.0416$ m olup, yamuk kesitli kanalın blokajlı hesaplamada dikkate alınan uzunluğu $L = 0.5$ m dir.

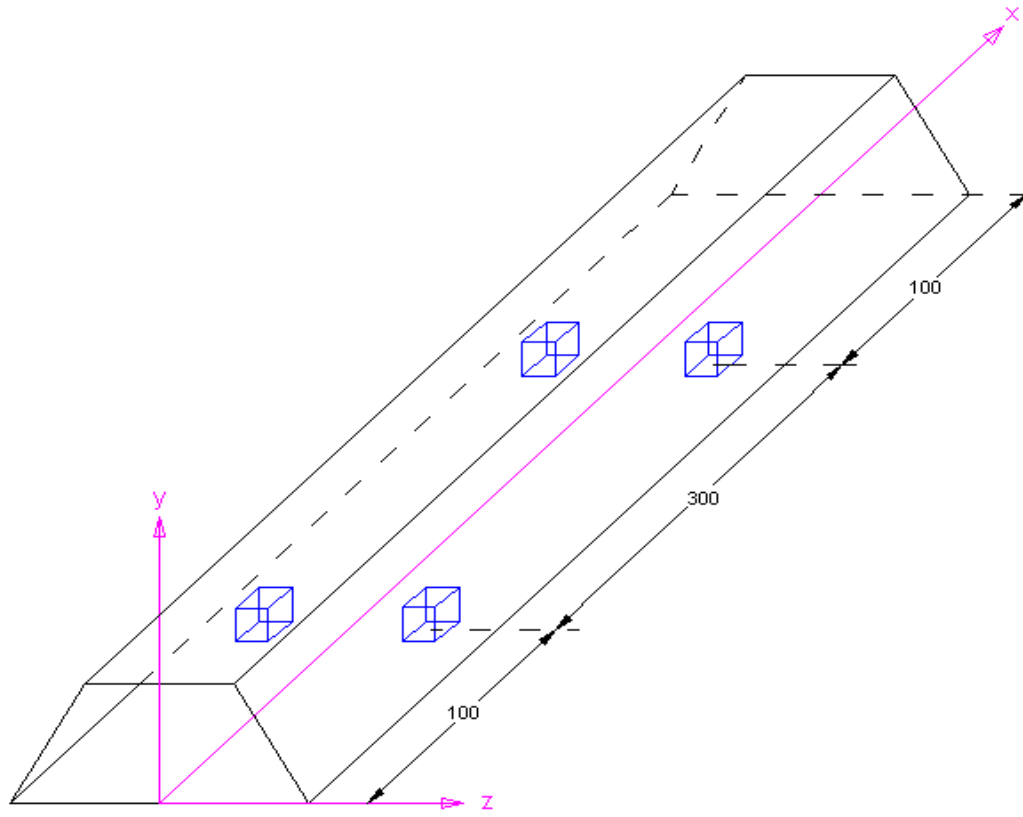


Şekil 3.2. Yamuk kesitli kanalın kesit görünüşü (Boyutlar mm cinsindendir.)

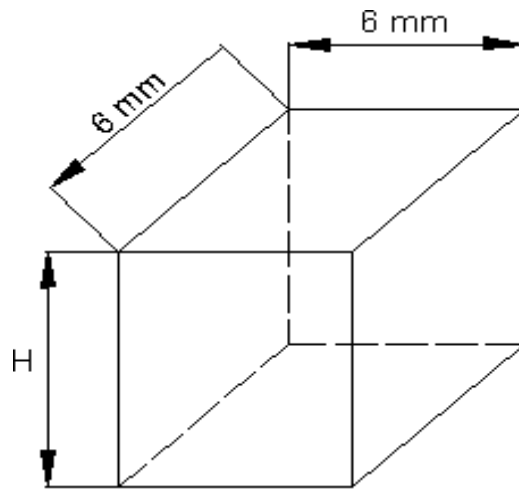
Kanal içerisindeki bloklar hesaplama bölgesine kanal giriş ve çıkışından 100 mm içeriye ve aralarındaki mesafe 300 mm olacak konumda Şekil 3.3.' de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi bloklar kanal içerisine sıralı dizilmiştir.

Kanal içerisine yerleştirilen blokların beş farklı yükseklikte ($H=8.5, 7, 6, 5$ ve 4 mm) olması durumunda ve Reynolds sayısının farklı değerleri (100, 200, 300, 400 ve 500) için hesaplamalar yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, kanal içerisindeki blokların yüksekliğinin ve akış hızındaki değişimin akış ve ısı transferine etkilerini araştırmaktır.



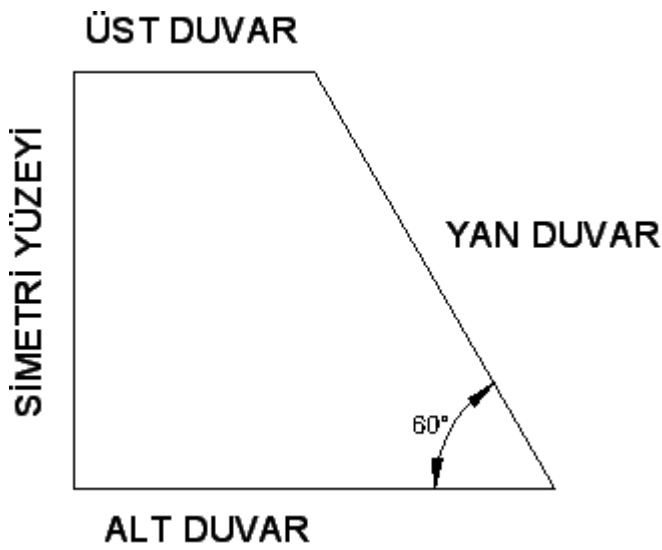
(a)



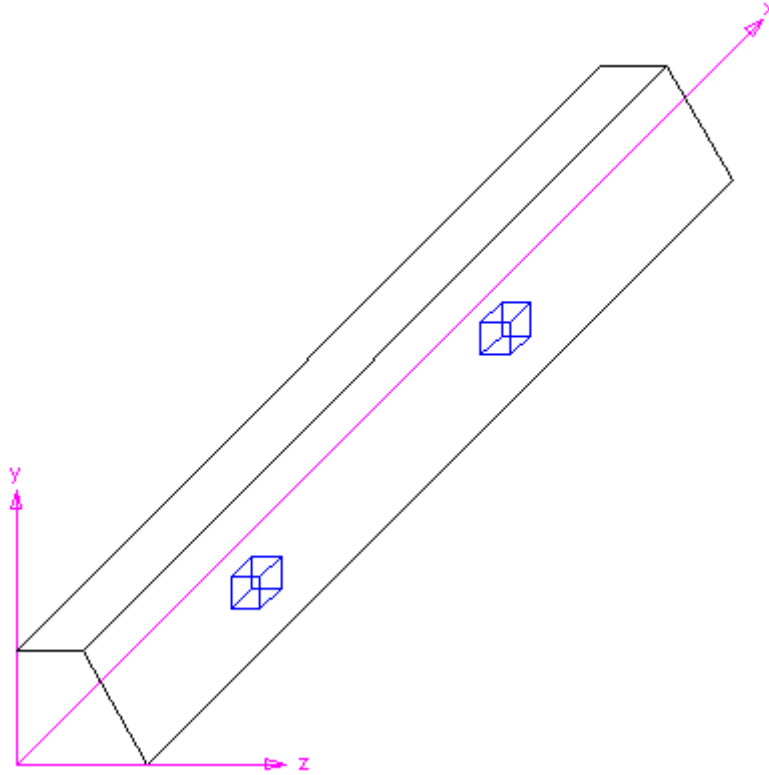
(b)

Şekil 3.3. Yamuk kesitli kanal içindeki blokların (a)konumunun, (b)ölçülerinin görünümü

Kanal geometrisinin simetrik olmasından yararlanılarak hesaplamalar kanalın yarısı göz önüne alınarak yapılmıştır. Böylece ağ yapısında oluşturulan hacim sayısı azaldığından çözümler daha hızlı yapılmış ve bilgisayar hafızasında tasarruf sağlanmıştır. Simetri düzlemi $z=0$ da x-y düzlemidir. Yamuk kesitli kanalın simetrik kesit görünümü Şekil 3.4.'de ve yamuk kesitli kanal içerisindeki blokların simetri alındığında kanal içindeki yerleşim biçimleri Şekil 3.5.'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Yamuk kesitli kanal kesitinin simetrik görünüşü



Şekil 3.5. Yamuk kesitli kanal içerisinde blokların simetrik görünüşü

Sayısal çalışmanın gerçekleştirilmesinde Akışkanlar Dinamiği programı olan Ansys FLUENT 6.3.26 paket programı kullanılmıştır. Ansys FLUENT 6.3.26 paket programı akış ve ısı transferi problemlerini sonlu hacimler metodu kullanarak çözen Akışkanlar Dinamiği programıdır. Geometrinin ve ağ yapısının oluşturulmasında, sınır şartlarının belirlenmesinde bir ön işlemci programı olan Ansys GAMBIT 2.3 paket programı kullanılmıştır.

3.2. Temel Denklemler ve Sınır Şartları

Hesaplamalar laminar akış, kararlı rejim, üç boyutlu, sıkıştırılamaz, Newtonsel akışkan ve sabit akışkan özellikleri için doğal konveksiyonun ihmal edildiği durumda yapılmıştır. Viskoz disipasyon etkileri ihmal edilmiştir.

Problem çözümünde kullanılan temel denklemler süreklilik, momentum ve enerji denklemleridir. Bu kabuller doğrultusunda problem çözümünde kullanılan temel denklemler şu şekildedir:

Süreklilik denklemi:

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

x-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-momentum denklemi:

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

z-momentum denklemi:

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

Periyodik akış için basınç denklemi:

$$\Delta p = p(x) - p(x+L) = p(x+L) - p(x+2L) = \dots \quad (3.5)$$

Periyodik akışta hız vektörlerinin denklemleri:

$$u(x) = u(x+L) = u(x+2L) = \dots \quad (3.6.a)$$

$$v(x) = v(x+L) = v(x+2L) = \dots \quad (3.6.b)$$

$$w(x) = w(x+L) = w(x+2L) = \dots \quad (3.6.c)$$

Enerji denklemi:

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \left(\frac{k}{\rho c_p} \right) \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (3.7)$$

Eş. 3.1 ile 3.5'de:

u , v ve w : x -, y - ve z - yönlerindeki hız bileşenleri (m/s)

x -, y - ve z - : koordinat sistemindeki boyut bileşenleri (m)

P : basınç (Pa)

ρ : akışkanın yoğunluğu (kg/m^3)

T : sıcaklık (K)

k : ısı iletim katsayısı (W/m.K)

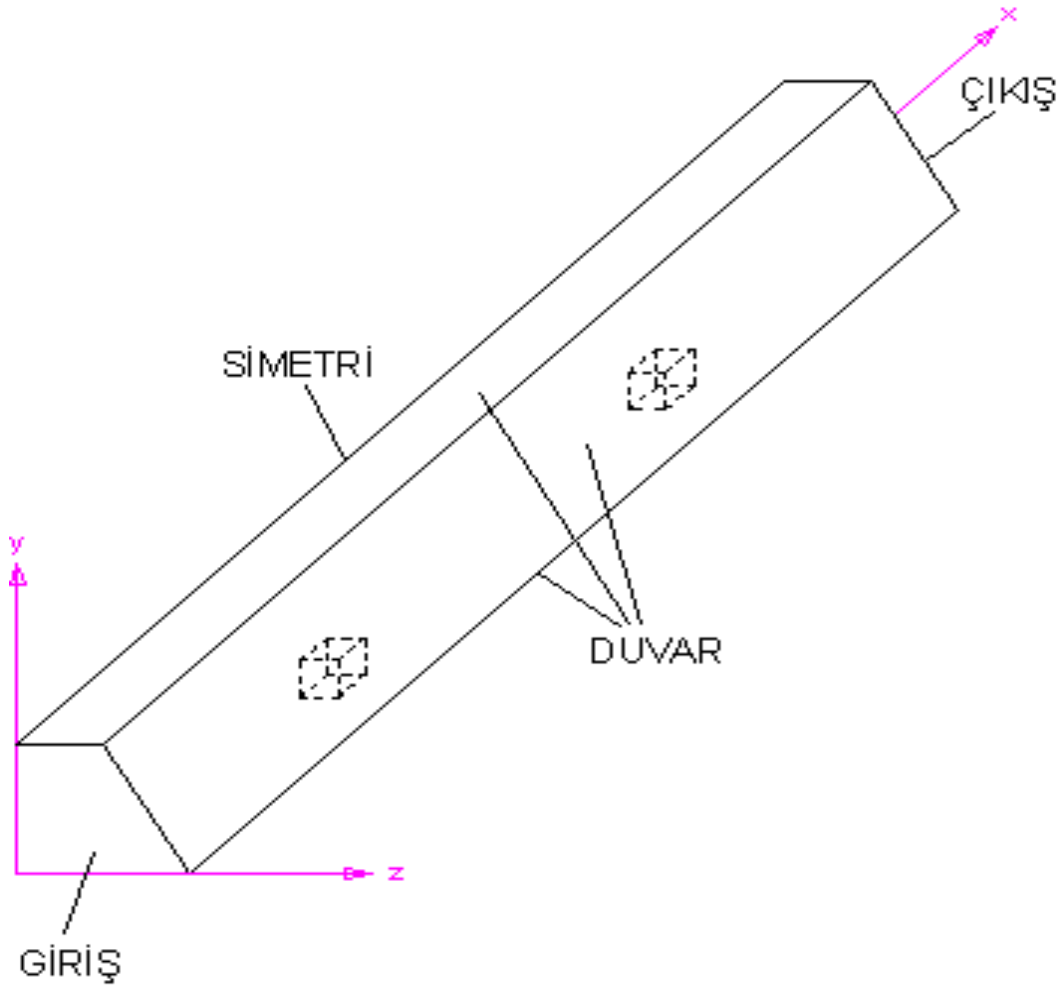
C_p : özgül ısı (J/kg.K)

ν : kinematik viskozite (m^2/s)

$\vec{x}$: pozisyon vektörü

$\vec{L}$: periyodik uzunluk vektörü

Temel denklemlerin çözülebilmesi için uygun sınır şartlarına gerek duyulmaktadır. Çözüm alanındaki sınır şartları Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Sınır şartlarının çalışma alanındaki görünüşü

Yapılan kabullere göre akışkan kanal girişinde uniform hız ve sıcaklıktadır. Kanal yüzeyinde hız için kaymanın olmadığı sınır şartı ve sıcaklık için de sabit yüzey sıcaklığı sınır şartı kullanılmıştır. Kanalın simetri düzlemi boyunca ($z=0$) simetri sınır şartı uygulanmıştır. Girişte periyodik sınır şartı verilmiştir. Bu kabuller doğrultusunda süreklilik, momentum ve enerji denklemlerindeki hız, basınç ve sıcaklık değerleri aşağıda verilen sınır şartları için çözülmüştür.

Bloklar, akışkan içinde katı olarak alınmıştır. Blokların ısı iletim katsayısının çok yüksek olduğu ve böylece blok yüzeylerindeki sıcaklığın kanal duvar sıcaklığında olduğu kabul edilmiştir.

Girişte ($x=0$) :

Giriş için, periyodik hız sınır şartı uygulanmıştır.

$$\text{Sıcaklık için : } \theta(x,y,z) = \theta(x+L,y,z) = \theta(x+2L,y,z) = \dots \quad [29] \quad (3.8)$$

Simetri ekseninde ($z=0$) :

$$\frac{\partial u}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial v}{\partial z} = 0, \quad w = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad (3.9)$$

Duvarlarda:

$$u=0, \quad v=0, \quad w=0, \quad T=325 \text{ K} \quad (3.10)$$

Akış alanında akışkan özelliklerinin sabit olduğu kabul edilmiştir. Akışkan özellikleri havanın kanala giriş sıcaklığı olan 290 K' de alınmıştır [27].

Sayısal çalışma sonucunda elde edilen veriler ile kanaldaki ortalama Nusselt sayısı Nu_m , Darcy sürtünme faktörü f ve Reynolds sayısı Re değerleri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$Q = \dot{m} C_p (T_{\zeta} - T_g) = h A_s \Delta T_{ln} \quad (3.11)$$

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \quad (3.12)$$

$$\Delta T_1 = T_w - T_g \quad (3.12.a)$$

$$\Delta T_2 = T_w - T_{\zeta} \quad (3.12.b)$$

$$Nu_m = \frac{h_m D_h}{k} \quad (3.13)$$

$$f = \frac{\Delta P (D_h / L)}{\rho u_0^2 / 2} \quad (3.14)$$

$$Re = \frac{\rho U D_h}{\mu} \quad (3.15)$$

Burada:

h_m : ortalama ısı taşınım katsayısı ($W/m^2.K$)

D_h : Hidrolik çap (m)

k : ısı iletim katsayısı ($W/m.K$)

ΔP : basınç düşümü (Pa)

L : kanal uzunluğu (m)

ρ : akışkanın yoğunluğu (kg/m^3)

u_0 : akışkanın kanal girişindeki hızı (m/s)

μ : dinamik viskozite ($kg/m.s$)' dir.

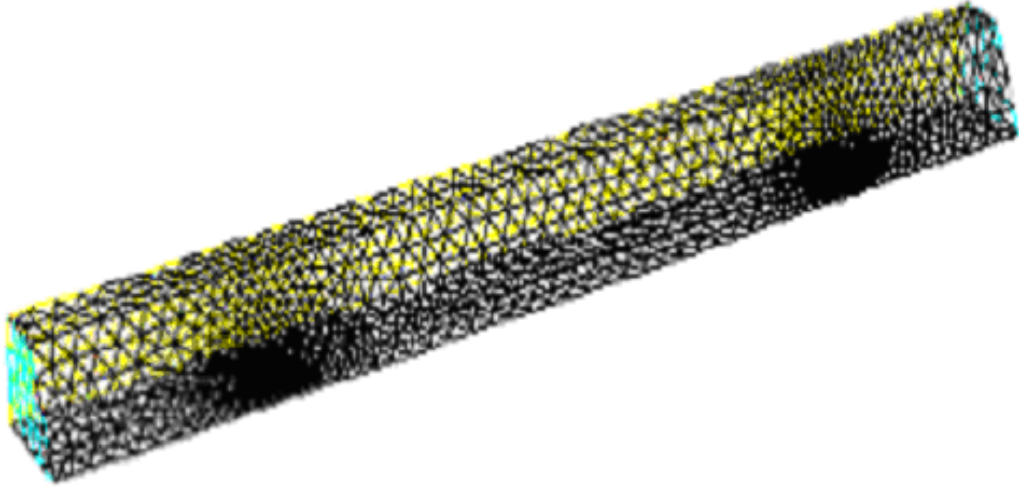
3.3. Çözüm Metodu

Sayısal çalışma sürecinde akış ve ısı transferi problemlerini sonlu hacimler metodu kullanarak çözebilen bir program olan Ansys FLUENT 6.3.26 paket programı kullanılmıştır.

Sayısal çalışmanın yapılabilmesi için öncelikle akış alanında çözüm ağı oluşturulmuştur. Geometrinin ve ağ yapısının oluşturulmasında ve sınır şartlarının belirlenmesinde bir ön işlemci programı olan Ansys GAMBIT 2.3 paket programı kullanılmıştır.

Yamuk kesitli kanalın sayısal çalışmanın gerçekleştirildiği kısmında ağ yapısı oluşturulurken, bloklara yakın bölümlere daha küçük hacimli, bloklardan uzak bölümlere (duvarlara yakın kısımlara) ise daha büyük hacimli elemanlar

atılmıştır. Böylelikle blokların çevresinde sık ağ yapısı oluşturulmasına karşılık, bloklardan uzaklaştıkça daha seyrek ağ yapıları kullanılarak çözümlerin doğruluğunun artırılması amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan tipik ağ yapısı Şekil 3.7.'de görüldüğü gibidir.



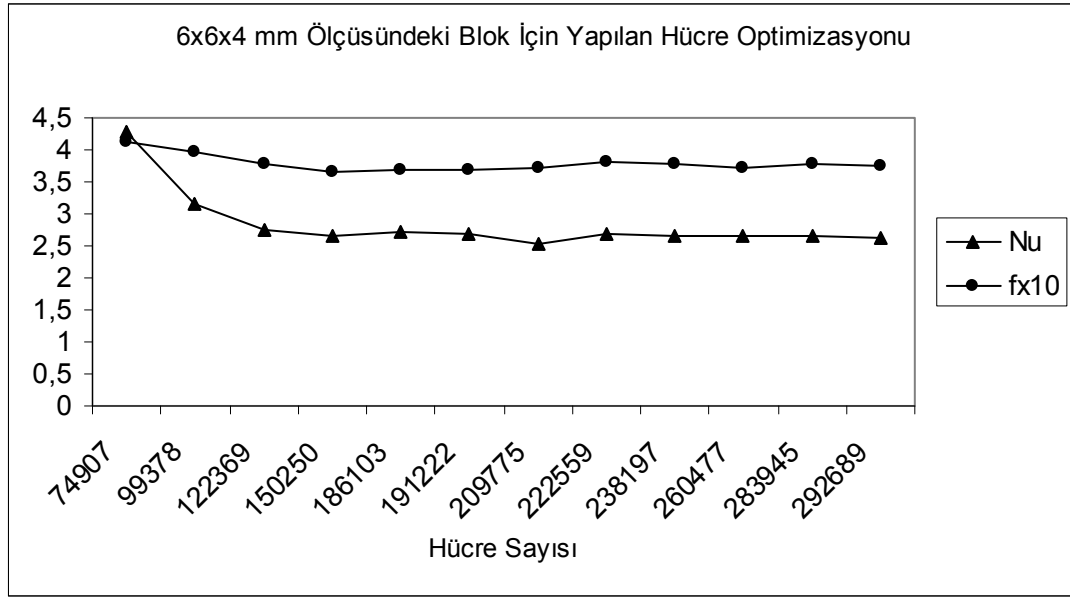
Şekil 3.7. Yamuk kesitli kanalın ağ yapısının görünüşü

Sayısal sonuçların hücre sayısından bağımsız olmasını sağlamak için hücre sayısı artırılarak sayısal çözüm sonucunun değişmediği hücre sayısına ulaşıncaya kadar çözümler yapılmıştır. Çözüm alanındaki hücre sayısının artmasıyla ortalama Nusselt sayısı ve ortalama Darcy sürtünme faktörü değerlerindeki değişimin ihmal edilebilir seviyede olduğu hücre sayısı optimum hücre sayısı olarak belirlenmiştir.

Her blok yüksekliği için kanal hesaplama bölgesinde yeniden ağ yapıları oluşturulmuştur. Her blok yüksekliği için sayısal çözümün ağ yapısından bağımsız olduğu durum araştırılmış ve çözümler bu ağ yapısı için yapılmıştır.

Ortalama Nusselt sayısının ve ortalama Darcy sürtünme faktörünün hücre sayısı ile değişimi yamuk kanal içerisine 6x6x4 mm ölçülerindeki blokların yerleştirildiği durum için Şekil 3.8.'de verilmiştir. Şekil 3.8.'den görüldüğü üzere hücre sayısının belirli bir değerden sonra artırılması ortalama Nusselt

sayısı ve ortalama Darcy sürtünme faktörü değerlerinde önemli bir değişime sebep olmamaktadır. Hücre sayısının 260477'den 283945'e değişmesi halinde ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü değerlerindeki değişimler sırasıyla %0,75 ve %1.4 olmaktadır. Böylece 260477 sayısındaki hücre yapısı optimum hücre yapısı olarak kabul edilmiştir. Aynı çözüm, diğer blok yükseklikleri içinde tekrarlanmış ve her blok için yapılan çözümde uygun hücre sayısı belirlenerek çözümler bu hücre sayısında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.8. Yamuk kanal içerisinde 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durum için yapılan mesh optimizasyonu

Momentum ve enerji denklemlerinin diskritizasyonu için ikinci mertebe upwind metodu ve basınç-hız çiftinin çözümünde SIMPLE-algoritması kullanılmıştır. Yakınsama için tüm denklemlerdeki kalıntıların 1×10^{-5} olması durumuna kadar çözümler sürdürülmüştür.

3.4. Sayısal Çalışmada Kullanılan Paket Programın Özellikleri

3.4.1. Ansys Gambit 2.3.16

Ansys Gambit 2.3.16, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizinde problem geometrisinin oluşturulması, bu geometrinin hücrelere bölünmesi ve sınır şartlarının belirlenmesinde kullanılan bir ön işlemci paket programıdır.

Gambit programı sayesinde problem geometrilerinin modellemesinin yapılabildiği gibi diğer programlarda oluşturulmuş modeller de Gambit programına transfer edilerek kullanılabilir. Bu programlar CATIA, UNIGRAPHICS, SOLIDWORKS, I-DEAS ve Pro/ENGINEER gibi katı modelleme programlarıdır.

Gambit, iki boyutlu geometrilerin modellenmesinde dörtgen ve üçgen elemanlar ile ağ yapısının oluşturulmasını sağlar. Üç boyutlu geometrilerin modellenmesinde ise dört yüzlü, altı yüzlü, prizma (kama) tipi, piramit tipi ve karışık elemanlar ile ağ yapısının oluşturulmasını sağlar.

3.4.2. Ansys Fluent 6.3.26

Ansys Fluent sonlu hacimler yöntemini kullanan bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımıdır. 1983' ten bu yana dünya çapında bir çok endüstri dalında kullanılan ve günden güne gelişerek tüm dünyadaki Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği piyasasında en çok kullanılan yazılım durumuna gelen Ansys Fluent, en ileri teknolojiye sahip ticari Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yazılımı olarak kullanıcılarının en zor problemlerine kolay ve kısa sürede elde edilen çözümler sunmaktadır.

Ansys Fluent, genel amaçlı bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yazılımı olarak, otomotiv endüstrisi, havacılık endüstrisi, beyaz eşya endüstrisi, turbomakine (fanlar, kompresörler, pompalar, türbinler v.b.) endüstrisi, kimya endüstrisi, yiyecek endüstrisi gibi birbirinden farklı bir çok endüstriye ait akışkanlar mekaniği ve ısı transferi problemlerinin çözümünde kullanılabilir. Bu özelliği sayesinde kullanıcılarına birbirinden farklı bir çok probleme aynı ara yüzü kullanarak çözüm alma olanağı sağlar.

Ansys Fluent kolay kullanımı sayesinde, ürün performansını ürün henüz tasarım aşamasındayken ölçme, performansı düşüren etkenleri detaylı bir şekilde tespit ederek yine bilgisayar ortamında giderme ve piyasaya iyileştirme işlemleri tamamlanmış son ürünün verilmesine imkan sağlar.

Ansys Fluent, sahip olduğu ileri çözücü teknolojisi ve bünyesinde barındırdığı değişik fiziksel modeller sayesinde laminar, geçişsel ve türbülanslı akışlara, iletim, taşınım ve radyasyon ile ısı geçişini içeren problemlere, kimyasal tepkimeleri içeren problemlere, yakıt pilleri, akustik, akış kaynaklı gürültü, çok fazlı akışları içeren problemlere hızlı ve güvenilir çözümler üreterek, AR-GE çalışmalarında kullanılmaktadır.

Ansys Fluent'in teknik zellikleri

Ansys Fluent, sıkıştırılmaz (düşük sabsonik), orta sıkıştırılabilir (transonik) ve yüksek sıkıştırılabilir (süpersonik ve hipersonik) akışlar için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği zcsdr. Yakınsamayı hızlandıran çoklu ağ metoduyla beraber çoklu çözücü seçenekleri ile Ansys Fluent geniş hız rejimleri aralıklarında optimum çözüm etkinliği ve hassasiyeti getirir. Ansys Fluent'deki fiziksel modellerin zenginliği, laminar, geçiş ve türbülanslı akışların, ısı transferinin, kimyasal tepkimelerin, çok fazlı akışların ve diğer olguların sayısal ağ esnekliği ve çözüm tabanlı ağ uyarlaması ile hassas çözülmesine olanak verir.

Ansys Fluent'in modelleme yetenekleri

Fluent'in başlıca modelleme yetenekleri şöyle sıralanabilir:

- 2 boyutlu düzlemsel, 2 boyutlu eksenel simetrik, 2 boyutlu döngülü eksenel simetrik (dönel simetrik) ve 3 boyutlu akışlar,
- Sabit rejim veya geçici rejim akışları,
- Bütün hız rejimleri (düşük sabsonik, transonik, süpersonik ve hipersonik akışlar),
- Laminar, geçiş veya türbülanslı akışlar,
- Newtonsel ve newtonsel olmayan akışlar,
- Zorlamalı, doğal, karışık konveksiyon, konjuge ısı transferi ve radyasyon,
- Homojen ve heterojen yanma modellerini ve yüzey tepkime modellerini de içeren kimyasal türler karışımı ve tepkime modelleri,

- Gaz-sıvı, gaz-katı ve sıvı-katı akışlar için serbest yüzey ve çok fazlı akış modelleri,
- Sürekli yüzeyle akupile yayık fazlar (partikül/damla/baloncuk) için Lagrangian yörünge hesaplama,
- Erime/katılaşma uygulamaları için faz değişikliği modeli,
- İzotopik olmayan geçirgenlik, ilk direnç, katı ısı iletimi ve gözenekli yüzey basınç zıplaması modelleriyle gözenekli ortam,
- Fanlar, pompalar, radyatörler ve ısı değiştirgeçleri için modeller,
- Durağan ve dönel referans çerçeveleri,
- Çoklu hareketli çerçeveler için çoklu referans çerçevesi ve kayan ağ seçenekleri,
- Kütle korunumu ve döngü korunumu seçenekleriyle beraber rotor-stator etkileşimleri, tork konverterleri ve benzer turbomakina uygulamaları için karışım düzlemi modeli,
- Kütle, momentum, ısı ve kimyasal türler için hacimsel kaynaklar,
- Malzeme özellikleri veri tabanı,
- Sürekli fiber modeli,
- Magnetohidrodinamik modeli,
- Akış kaynaklı gürültü öngörme modeli,
- GT-Power ile dinamik (iki-yönlü) birleşimlik,
- Kullanıcı tanımlı fonksiyonlarla ilerli seviyede özelleştirme yeteneği,
- Silindir içi akış modelleme yeteneği,
- Hareketli ve deforme olan ağ hareketleri.

Ansys Fluent'in sayısal ağ yetenekleri

Ansyes Fluent'in sayısal ağ yetenekleri şu şekildedir:

- Dörtgen, üçgen, altı yüzlü, dörtyüzlü, prizma (kama), piramit ve karışık elemanlı sayısal ağ,
- Akışkan/katı ara yüzlerini de içeren konuşmayan (asılı düğüm noktalı) sayısal ağ ara yüzleri,

- GeoMesh, TGrid, preBFC, ICEM/CFD, I-DEAS, PATRAN, NASTRAN, ANSYS, Pro/ENGINEER, STL, PLOT3D, CGNS-formatlı sayısal ağ alabilme,
- Sayısal ağ sıklaştırma ve seyreltme,
- Üçgen ve dörtyüzlü elemanlar için konuşur sayısal ağ uyarlaması,
- Bütün elemanlar için asılı (konuşmayan) düğüm noktalı sayısal ağ uyarlamalarını içeren dinamik, çözüm tabanlı uyarlama (yoğunlaştırma ve seyrekleştirme),
- Kullanıcı tarafından belirlenen bölgeler için sayısal ağ yoğunlaştırması ve çözüm değişkenleri, elde edilen büyüklükler ve kullanıcı tanımlı alan fonksiyonu değişkenleri kullanılarak adaptif yoğunlaştırma,
- Sayısal ağ yoğunlaştırması sonrası otomatik çözüm enterpolasyonu,
- Çözüm ilerlerken sayısal ağı sıklaştıran ve seyrelten dinamik ağ uyarlaması.

Sınır koşulları

Ansyes Fluent'in kullandığı sınır şartları aşağıda sıralanmıştır:

- Çoklu akış giriş/çıkışları,
- Yansıtmayan sınır koşulları,
- Belirtilen akış miktarı oranı ile akış çıkışı sınır koşulu,
- Kütle debisi çıkışları,
- Giriş/çıkış fanları,
- Giriş/çıkış ızgaraları,
- Duvar sınır koşulları,
- Bireysel fazlar için çok fazlı hız giriş sınır koşulu,
- İki taraflı duvarlar,
- Giriş sınır koşulları için zamana bağlı profiller,
- Fan eğrileri için profil fonksiyonlar,
- Hacim kaynaklarından alt ağ ölçekli giriş tanımlamaları,
- Simetri ve eksen sınır koşulları,
- Ötelemeli veya dönel periyodik sınır koşulları,

- K t le debisi belirtilmiş periyodik sınır koşulları,
- Basınç kaybı belirtilmiş periyodik sınır koşulları,
- Sınır koşullarını kopyalama veya yeniden tanımlama yeteneği.

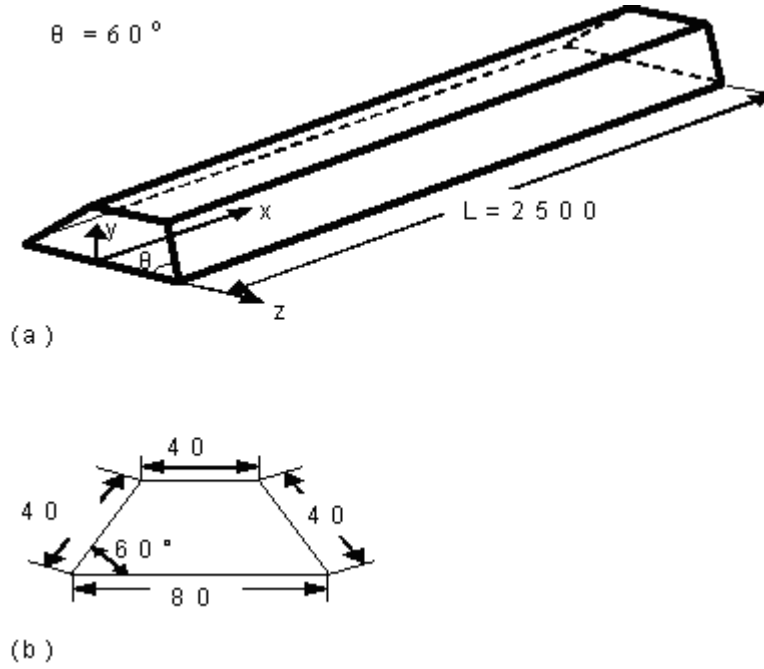
3.5. Sayısal  alışmada Kullanılan Kanallar

Hesaplamalar önce içerisinde blok olmayan kanal için sonra da kanal içerisine yerleştirilen beş farklı blok ölçüsü için gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde blok ölçüleri ile ilgili bilgi verilmiştir.

3.5.1.  erisinde blok bulunmayan kanal için yapılan sayısal  alışma

Yamuk kesitli kanal içerisinde blokların bulunmadığı durum için farklı Reynolds sayılarında sayısal çalışmalar yapılmıştır.

Yamuk kesitli kanalın bloksuz durumu için Reynolds sayısının 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 ve 800 değerleri için çözümler yapılmıştır.  erisinde blok bulunmayan yamuk kesitli kanalın uzunluğu 2500 mm'dir. Bloksuz yamuk kesitli kanalın görünümü şekil 3.9.' da verilmiştir.



Şekil 3.9. Yamuk kesitli kanalın bloksuz durumunun (Boyutlar mm' dir.)
(a) Genel görünümü, (b) Kesit görünümü

3.5.2. İçerisinde bloklar bulunan kanal için yapılan sayısal çalışma

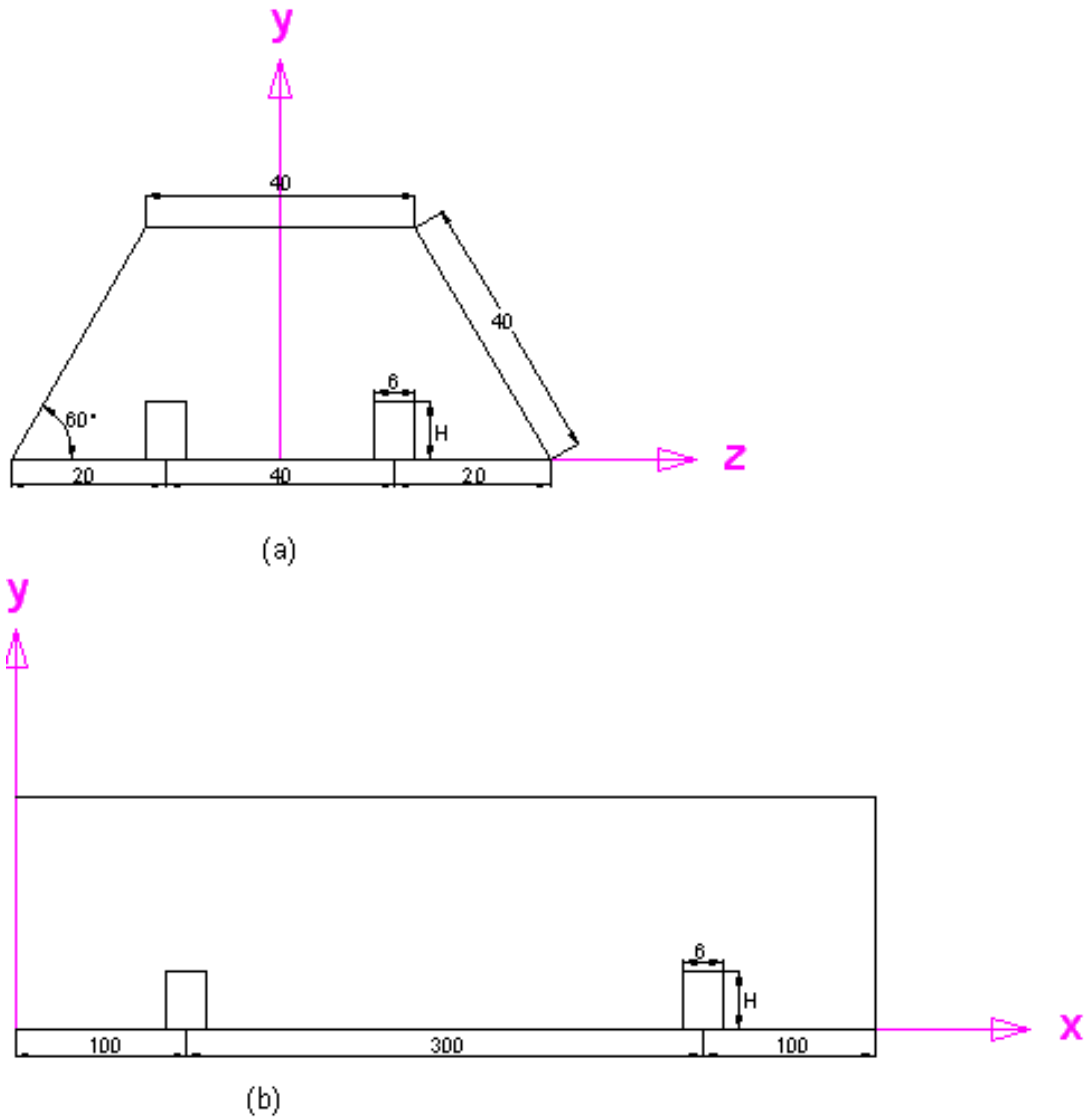
6x6 mm² taban kesit ölçülerindeki dört adet blok yamuk kesitli kanal içerisine yerleştirilerek farklı Reynolds sayılarında sayısal çalışmalar yapılmıştır.

Bloklar kanalın taban duvarına Şekil 3.10.'da görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Bloklar taban yüzeylerinin merkezi kanal giriş ve çıkışından 100 mm uzaklıkta olacak şekilde yerleştirilmiş böylelikle bloklar arası mesafenin x-ekseninde 300 mm olması sağlanmıştır. Blokların z-eksenine göre yerleşimi ise, blok tabanlarının merkezi kanal yan duvarlarından 20 mm uzaklıkta konumlandırılmış, böylece z-ekseninde blokların birbirinden uzaklığı 40 mm olmuştur. Bloklar birbirine göre paralel yerleştirildiğinden z=0'da x-y düzleminde simetri söz konusudur (Bkz. Şekil 3.1.).

Blokların yüksekliklerinin H=4, 5, 6, 7 ve 8.5 mm olması durumlarında çözümler yapılmıştır.

Yamuk kesitli kanal tabanına farklı yükseklikteki blokların yerleştirildiği durumlar için Reynolds sayısının 100, 200, 300, 400 ve 500 değerlerinde çözümler yapılmıştır.

İçerisine bloklar yerleştirilmiş yamuk kesitli kanalın görünümü Şekil 3.10.'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Yamuk kesitli kanal içerisinde blokların yerleşiminin görünüşü
(a)Yamuk kesitli kanalın önden görünüşü (b)Yamuk kesitli kanalın yandan görünüşü

Kanal içerisindeki 4 mm yüksekliğindeki blokların kanal kesitinde oluşturduğu blokaj %2.31; 5 mm yüksekliğindeki blokların kanal kesitinde oluşturduğu blokaj % 2.89; 6 mm yüksekliğindeki blokların kanal kesitinde oluşturduğu blokaj % 3.46; 7 mm yüksekliğindeki blokların kanal kesitinde oluşturduğu blokaj % 4.04 ve 8.5 mm yüksekliğindeki blokların kanal kesitinde oluşturduğu blokaj % 4.91 kadardır.

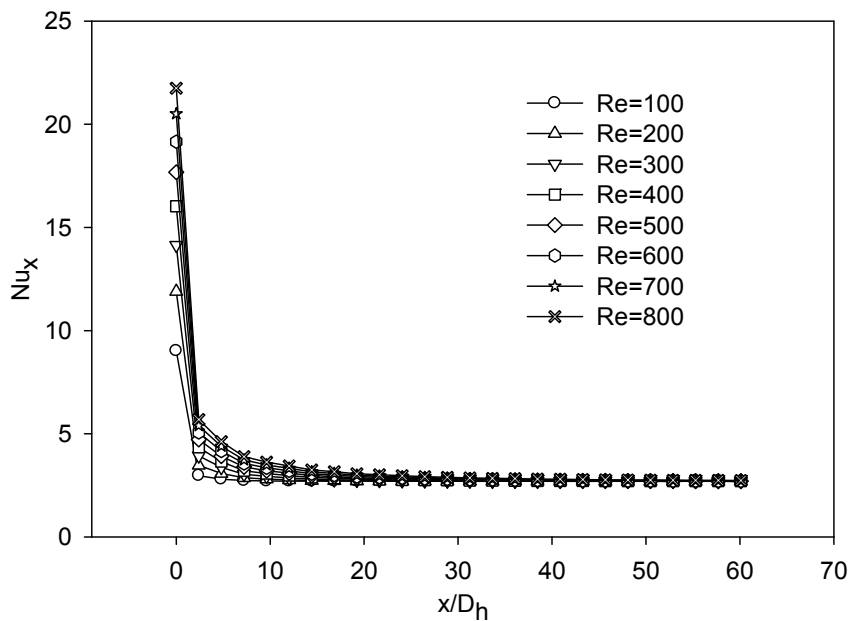
4. SAYISAL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Bu bölümde yamuk kesitli kanal içerisine yerleştirilen beş farklı yükseklikteki blok için yapılan ve kanalın bloksuz durumu için yapılan sayısal çalışma sonuçları ayrı ayrı verilmiştir. Sayısal çalışma sonuçları değişen Reynolds sayıları için grafikler halinde sunulmuştur.

4.1. İçerisinde Blok Bulunmayan Kanal İçin Yapılan Sayısal Çalışma Sonuçları

Önce yamuk kesitli kanal içerisinde blok bulunmayan durum için sayısal çalışmalar yapılmıştır. Sayısal hesaplamada kullanılan yamuk kanalın bloksuz durumu Şekil 3.9'da verilmiştir. Yamuk kesitli kanalın taban kenar uzunluğu 0.08 m, diğer üç kenarının uzunlukları 0.04 m ve taban açısı 60°'dir. Kanal hidrolik çapı 0.0416 m ve kanal uzunluğu 2.5 m dir. Sayısal çalışmalar Reynolds sayısının 100-800 aralığındaki değerleri için gerçekleştirilmiştir.

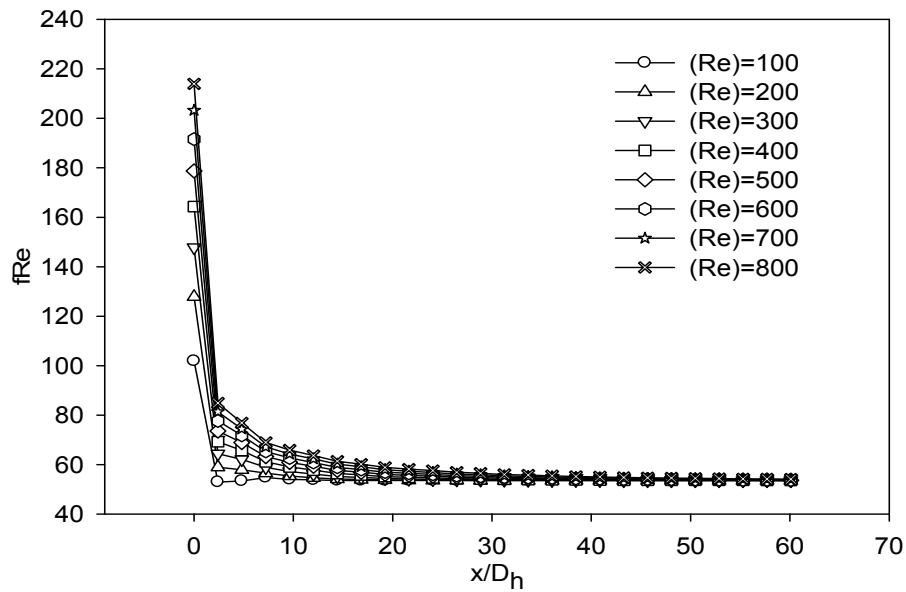
Yerel Nusselt sayısının kanal boyunca farklı Reynolds sayılarındaki değerleri grafiksel olarak Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Kanal içerisindeki yerel Nusselt sayısının kanal boyunca değişimi

Şekilden görüldüğü ve beklenildiği üzere kanal girişindeki yerel Nusselt sayısı tüm Reynolds sayıları için yüksek değerler almıştır. Ayrıca, kanal girişindeki yerel Nusselt sayıları yüksek Reynolds sayıları için yüksek değerler almıştır. Bununla birlikte, yerel Nusselt sayılarının tüm Reynolds sayıları için kanal boyunca düşüş gösterdiği ve belirli bir mesafeden sonra 2.7 değerinde sabit kaldığı görülmüştür. Diğer bir ifade ile; çalışılan Reynolds sayısı aralıklarında kanal uzunluğu ısıl olarak tam gelişmişliği sağlayacak şekilde seçilmiştir ve böylece köşe açısı 60° ve hidrolik çapı 0.0416 m olan yamuk kesitli kanal içerisinde tam gelişmiş akış şartlarında Nusselt sayısı değerinin 2.7 olduğu görülmüştür.

Kanal uzunluğu boyunca Darcy sürtünme faktörü değerleri hesaplanmış ve Şekil 4.2’de grafiksel olarak verilmiştir. Görüldüğü üzere fRe değerleri kanal girişinde yüksek değerler almaktadır. Belirli bir kanal uzunluğundan sonra fRe çarpımının 53.564 sabit değerine ulaştığı görülmüştür. Dolayısı ile Darcy sürtünme faktörü değerinin sabit kaldığı bu bölgeden itibaren akışın hidrodinamik olarak tam gelişmiş hale geldiğini söylemek mümkündür. Akışın hidrodinamik olarak tam gelişmiş haldeki fRe değeri ise 53.564’ tür.



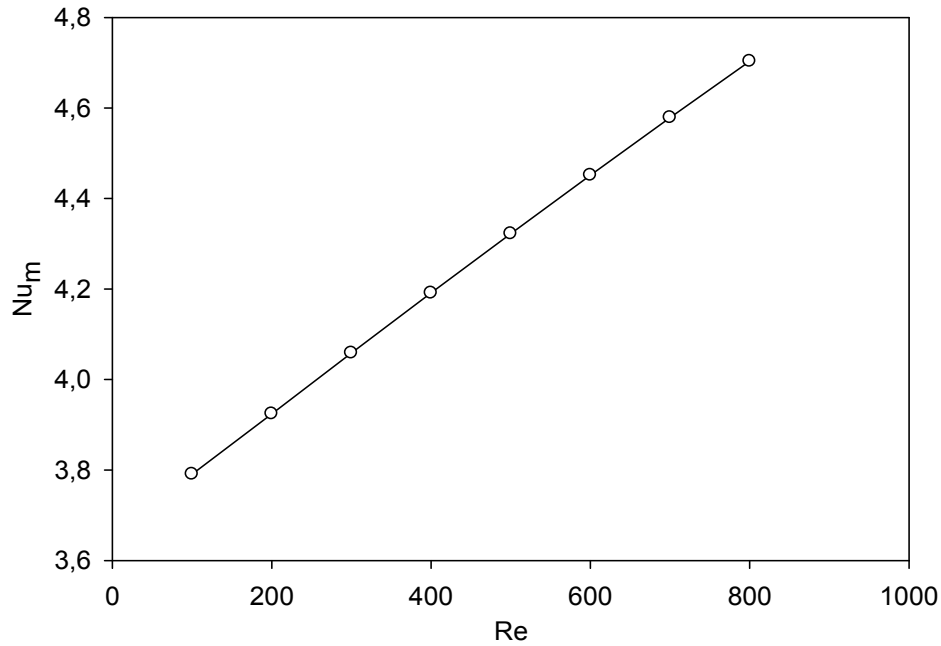
Şekil 4.2. fRe değerlerinin kanal boyunca değişimi

Yapılan çalışmadan elde edilen sayısal sonuçlar ve literatürde yer alan Shah ve London (1978), Sadasivam ve ark. (1999), Renksizbulut ve Niazmand (2006) sonuçları Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Sayısal çalışmadan elde edilen sonuçların literatür ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.1. Sayısal sonuçların literatür ile kıyaslanması

	Nu	$C_f Re$
Bu çalışma	2.700	53.564
Shah ve London (1978) [28]	-	57.648
Sadasivam vd. (1999)	3.139	57.300
Renksizbulut ve Niazmand (2006)	2.704	55.936

Ortalama Nusselt sayısı değerleri farklı Reynolds sayıları için Şekil 4.3'de verilmiştir. Beklenildiği gibi artan Reynolds sayısı için ortalama Nusselt sayısı artış göstermiştir.

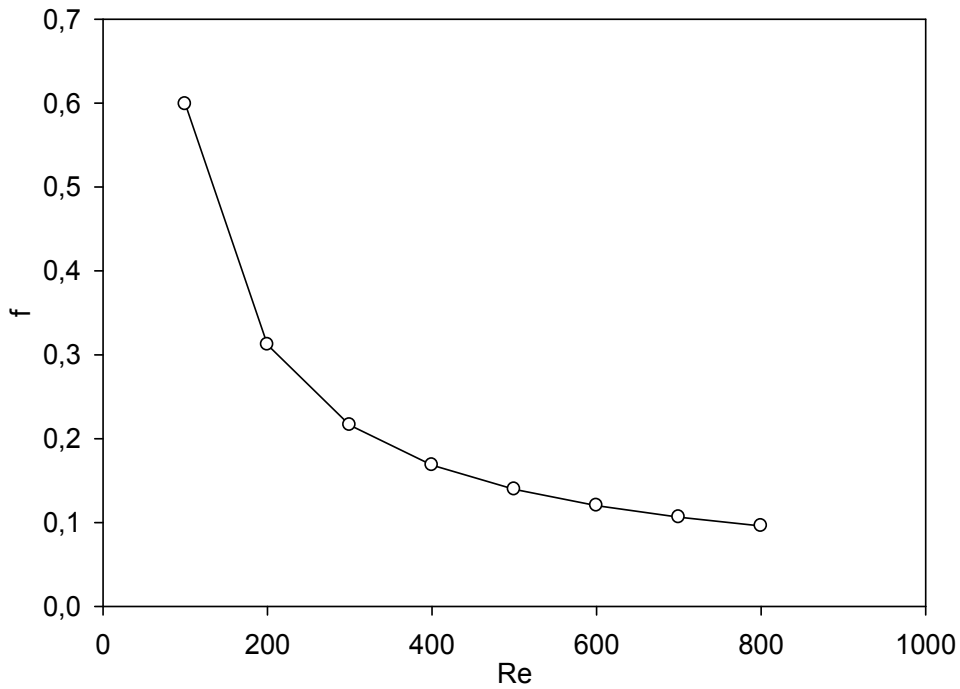


Şekil 4.3. Kanal içerisindeki ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

En küçük kareler yöntemi kullanılarak kanal içerisindeki ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki ampirik olarak şu şekilde ifade edilmiştir:

$$Nu_m = 2.241 Re^{0.108} \quad (4.1)$$

Şekil 4.4'de kanal içerisindeki Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi verilmiştir.

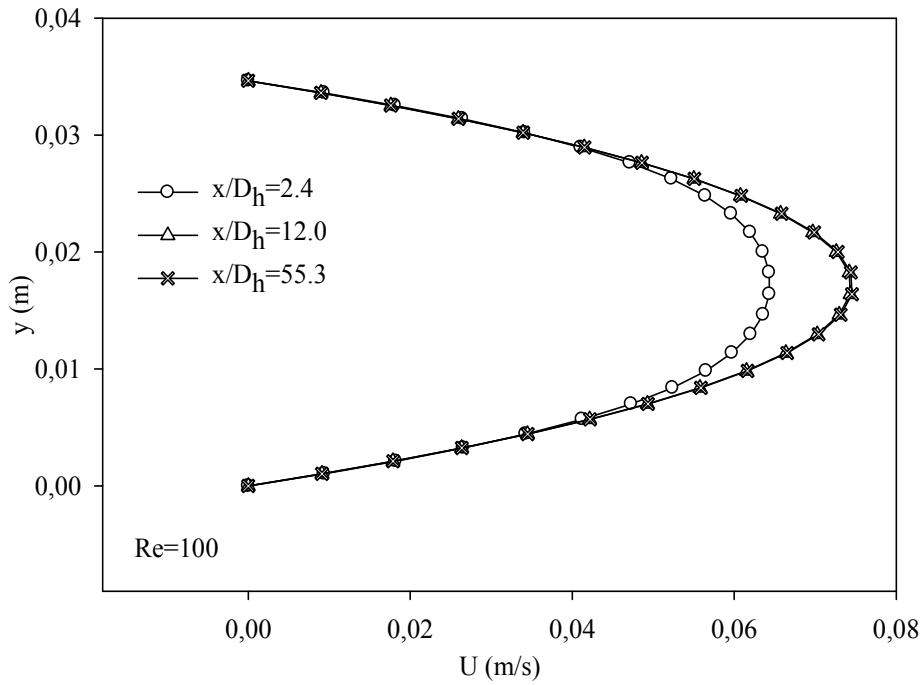


Şekil 4.4. Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi

Görüldüğü üzere artan Reynolds sayısı için Darcy sürtünme faktörü azalmıştır. Darcy sürtünme faktörü ile Reynolds sayısı arasındaki bağıntı ampirik olarak şu şekilde ifade edilmiştir

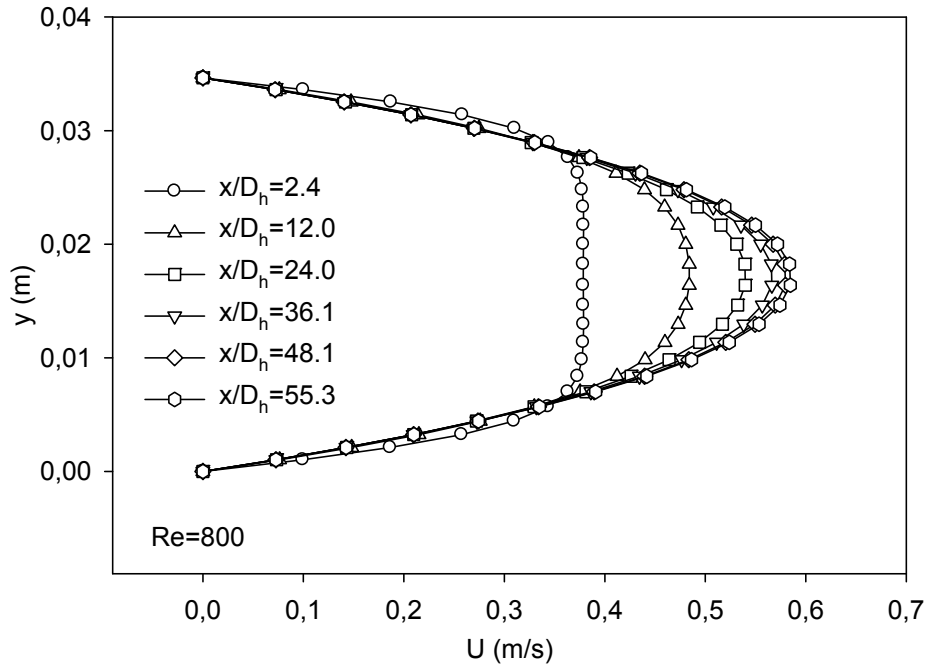
$$f = 38.74 Re^{-0.907} \quad (4.2)$$

Yamuk kesitli kanalın simetri düzlemi ($z=0$) üzerindeki hız profilleri kanal boyunca farklı kesitlerde ($x/D_h=2.4, 12.0, 24.0, 36.1, 48.1$ ve 55.3) kanal yüksekliğince $Re=100$ ve 800 için Şekil 4.5'de verilmiştir. $Re=100$ değeri için kanal girişinden yaklaşık olarak $x/D_h=12.0$ 'lık mesafeden itibaren akış hız profilinin değişmediği ve hidrodinamik olarak tam gelişmiş hale geldiği görülmüştür. Bununla birlikte $Re=800$ değerinde ise bu mesafenin yaklaşık olarak $x/D_h=36.1$ olduğu saptanmıştır.



(a)

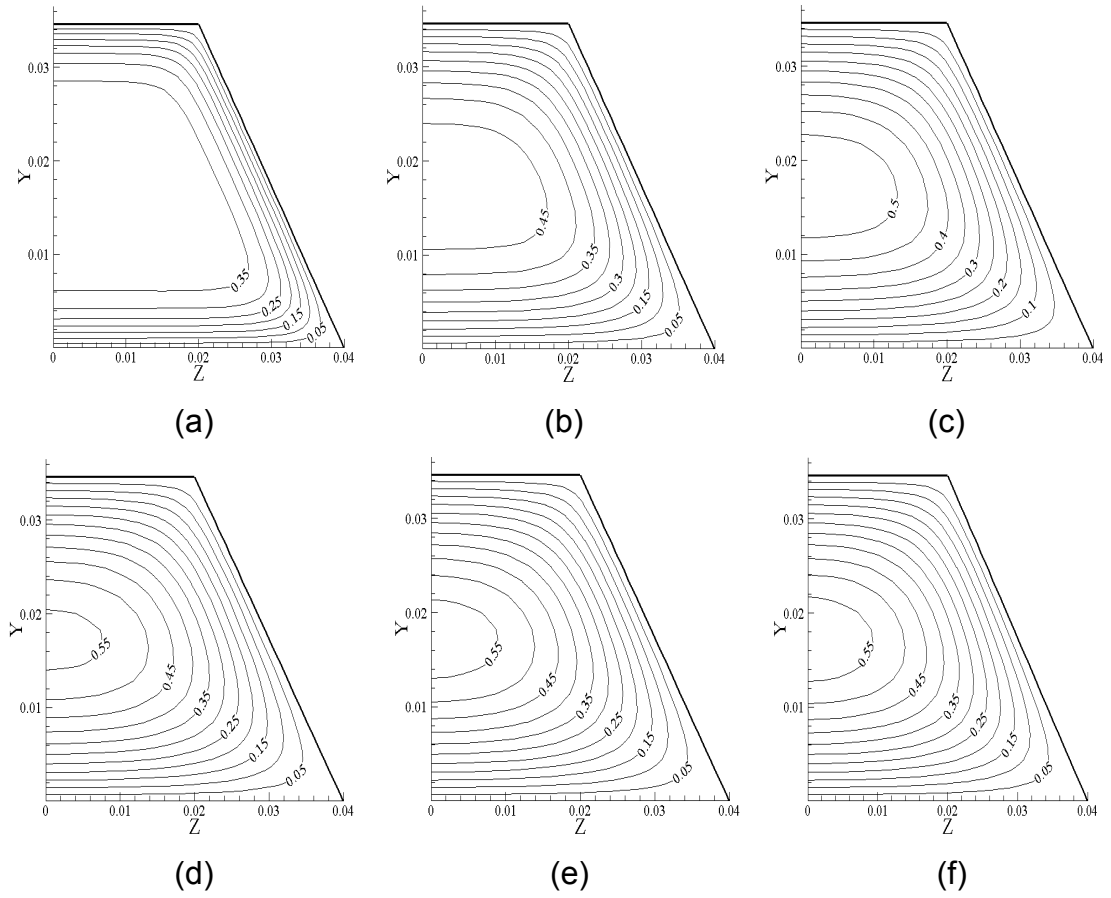
Şekil 4.5. Simetri düzleminde ($z=0$) ve farklı x -mesafelerinde kanal yüksekliği boyunca hız büyüklükleri: (a) $Re=100$, (b) $Re=800$



(b)

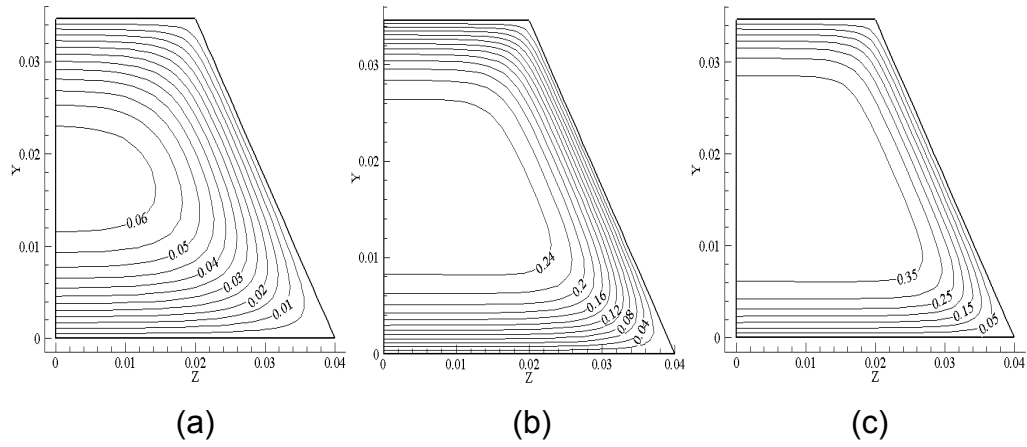
Şekil 4.5(Devam) Simetri düzleminde ($z=0$) ve farklı x -mesafelerinde kanal yüksekliği boyunca hız büyüklükleri: (a) $Re=100$, (b) $Re=800$

Kanal boyunca $x/D_h=2.4, 12.0, 24.0, 36.1, 48.1$ ve 55.3 'de oluşturulan y - z kesitlerindeki hız kontur dağılımı grafikleri tipik olarak $Re=800$ için Şekil 4.6'da verilmiştir. Hız dağılımlarının $x/D_h=36.1$ 'den sonra değişiklik göstermediği ve birbirini tekrarladığı görülmüştür. Dolayısı ile bu mesafeden sonra akışın hidrodynamic olarak tamamen gelişmiş şartlara ulaştığı saptanmıştır.



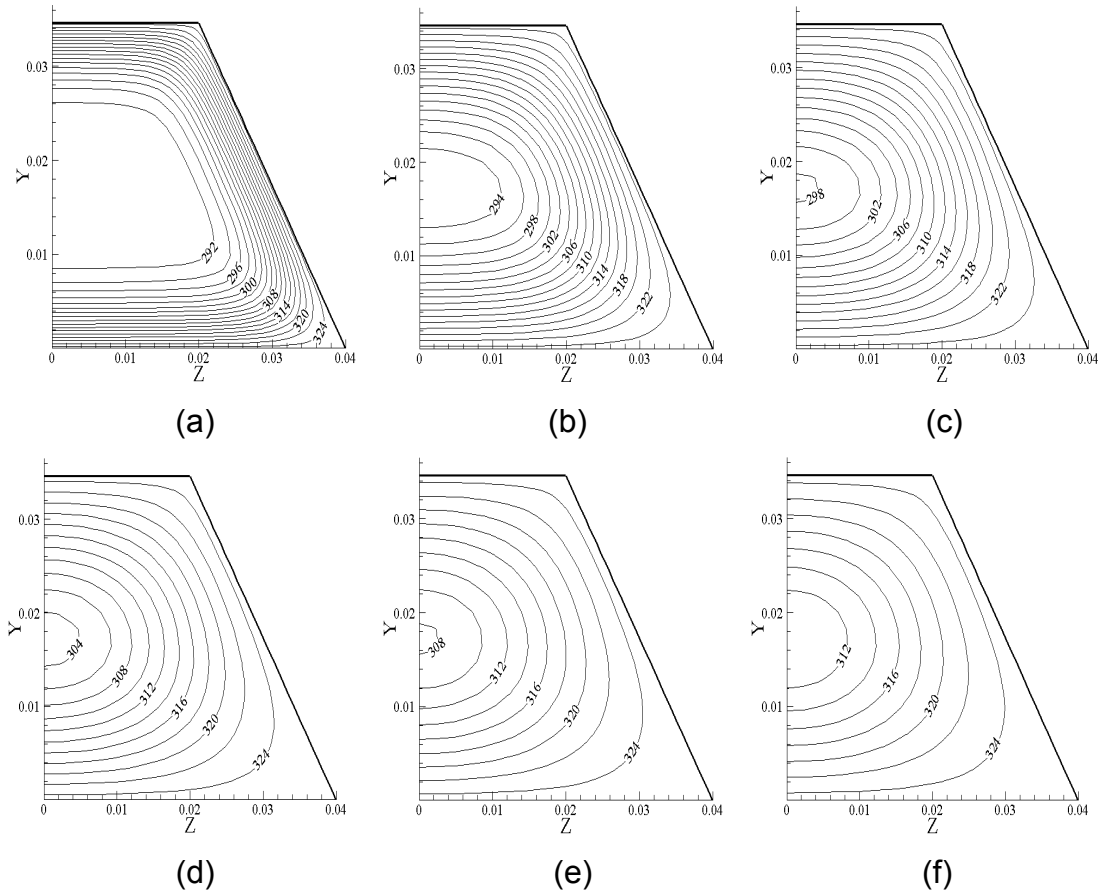
Şekil 4.6. $Re=800$ için farklı kesitlerde y - z düzlemleri üzerindeki hız dağılımları: (a) $x/D_h=2.4$, (b) $x/D_h=12.0$, (c) $x/D_h=24.0$, (d) $x/D_h=36.1$, (e) $x/D_h=48.1$, (f) $x/D_h=55.3$

Reynolds sayısının hız dağılımları üzerindeki etkisi Şekil 4.7.'de incelenmiştir. Şekil 4.7'de farklı Reynolds sayıları için $x/D_h=2.4$ 'de y - z düzlemindeki hız dağılımları verilmiştir. Reynolds sayısının değişimi ile kanal içerisindeki hız dağılımları da değişim göstermiştir. Artan hız ile duvar yakınındaki hız sınır tabakası kalınlığı küçülmüştür.



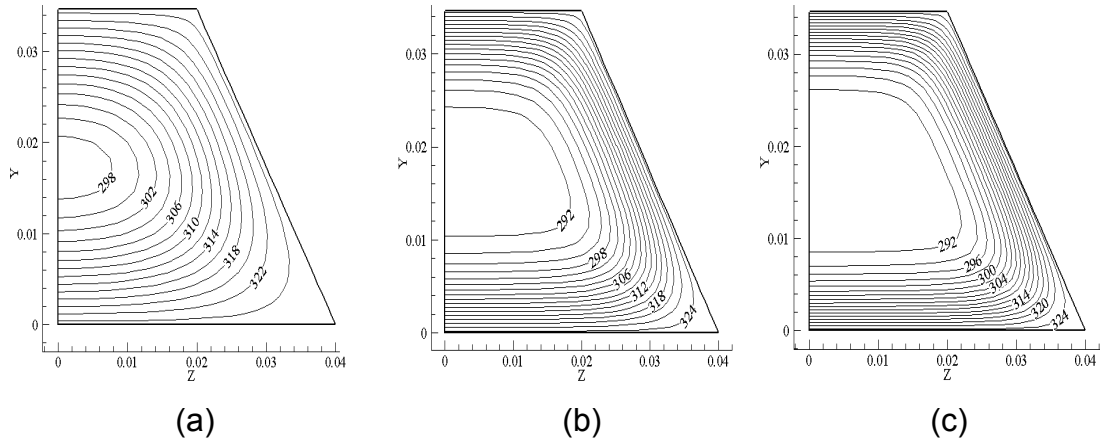
Şekil 4.7. Farklı Reynolds sayıları için $x/D_h=2.4$ 'de y-z düzlemindeki hız dağılımları: (a) $Re=100$, (b) $Re=500$, (c) $Re=800$

$Re=800$ için kanal içerisinde farklı kesitlerde oluşturulan yüzeylerdeki sıcaklık dağılımları Şekil 4.8'de verilmiştir. Sıcaklık dağılımlarından akışın kanal içerisinde ısı olarak gelişme şartları gözlemlenmiştir. Özellikle $x/D_h=48.1$ 'lik mesafeden sonra kanal içerisindeki sıcaklık dağılımının birbirini tekrarladığı saptanmıştır. Bu nedenle, $x/D_h=48.1$ 'lik mesafe $Re=800$ değeri için ısı olarak tamamen gelişmiş şartların sağlandığı mesafe olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.8. $Re=800$ için farklı y - z düzlemleri üzerindeki sıcaklık dağılımları:
 (a) $x/Dh= 2.4$, (b) $x/Dh= 12.0$, (c) $x/Dh= 24.0$, (d) $x/Dh= 36.1$,
 (e) $x/Dh= 48.1$, (f) $x/Dh= 55.3$

Şekil 4.9'da Reynolds sayısının sıcaklık dağılımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Farklı Reynolds sayıları için ($Re=100$, 500 ve 800) $x/Dh=2.4$ 'de y - z düzlemi üzerinde oluşturulan sıcaklık dağılımları Şekil 4.9 ile verilmiştir. Sıcaklık dağılımlarının Reynolds sayısı ile değişim gösterdiği görülmüştür. Artan Reynolds sayısı ile sıcaklık sınır tabakası kalınlığı azalmıştır.



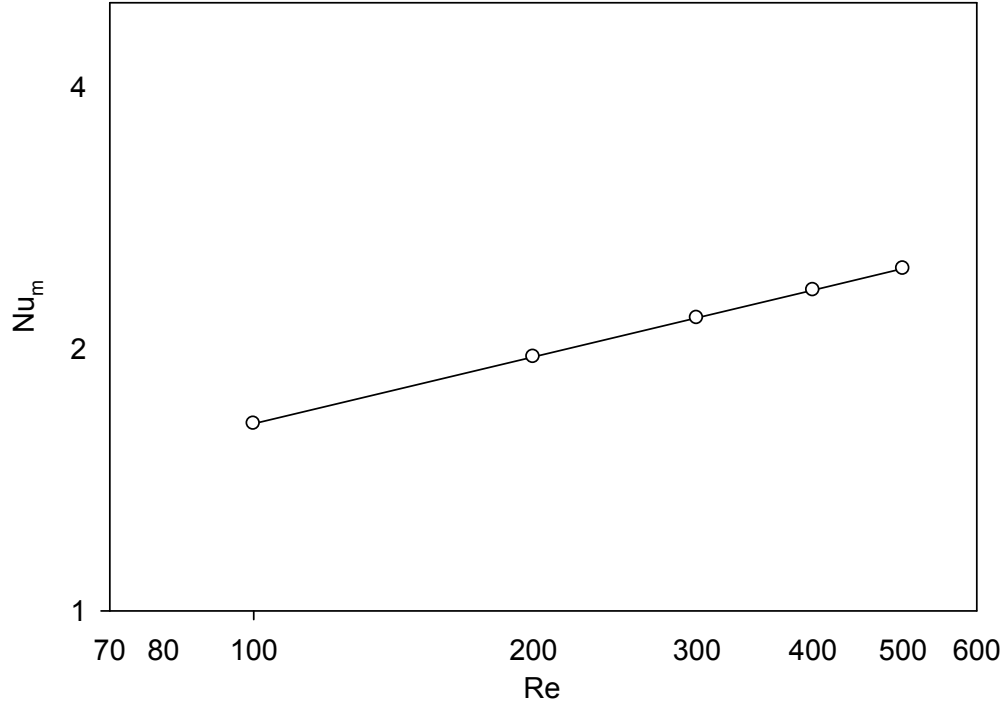
Şekil 4.9. $x/D_h=2.4$ 'de farklı Reynolds sayıları için y-z düzlemi üzerindeki sıcaklık dağılımları: (a) $Re=100$, (b) $Re=500$, (c) $Re=800$

İçerisinde blok bulunmayan kanal için yapılan sayısal çalışmadan elde edilen sonuçların literatür ile uyum içerisinde olduğu görüldükten sonra asıl yapılmak istenen içerisinde blok bulunan kanallar için çözümlere geçilmiştir.

4.2. İçerisinde 6x6x4 mm'lik Bloklar Bulunan Kanal İçin Yapılan Sayısal Çalışma Sonuçları

Yamuk kesitli kanal içerisine 6x6x4 mm ölçülerindeki 4 adet bloğun yerleştirildiği durum için sayısal çalışmalar yapılmıştır. Blokların kanal içerisindeki yerleşimi Şekil 3.10.'da gösterilmiştir. Sayısal çalışmalar Reynolds sayısının 100, 200, 300, 400 ve 500 değerleri için gerçekleştirilmiştir.

Ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi Şekil 4.10'da verilmiştir. Beklenildiği gibi artan Reynolds sayısı ile ortalama Nusselt sayısı da artış göstermiştir.

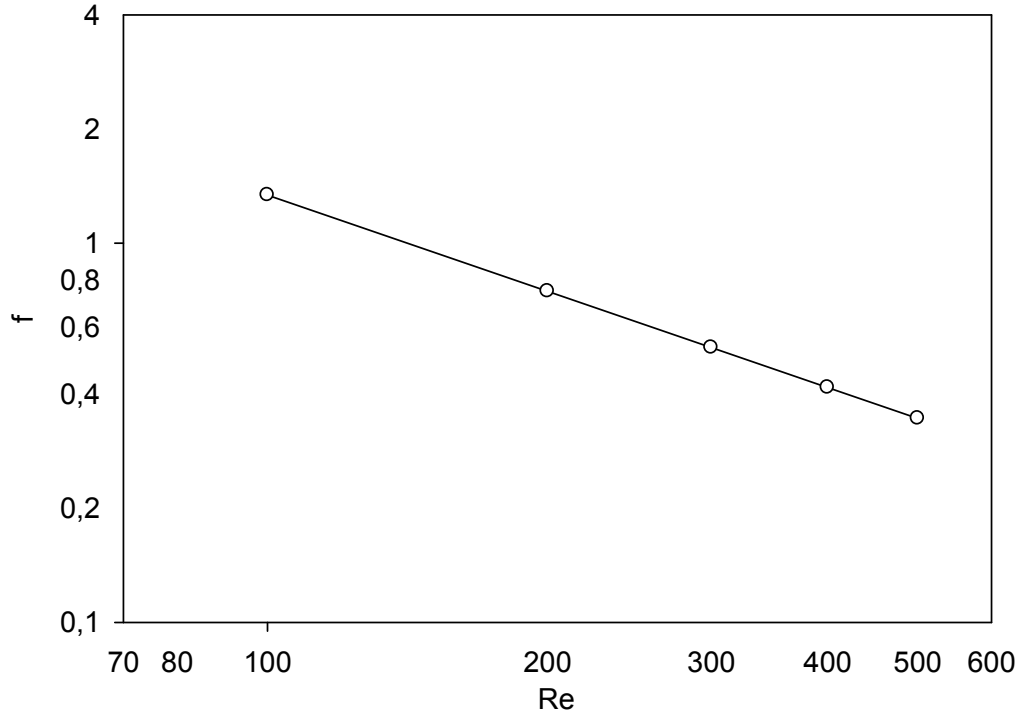


Şekil 4.10. Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

En küçük kareler yöntemi kullanılarak yamuk kesitli kanal içerisinde 6x6x4 mm ölçülerinde blokların yerleştirildiği durum için ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki ampirik olarak şöyle ifade edilebilir:

$$Nu_m = 0.507 Re^{0.255} \quad (4.3)$$

Kanal içerisinde Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi ise Şekil 4.11’de verilmiştir.



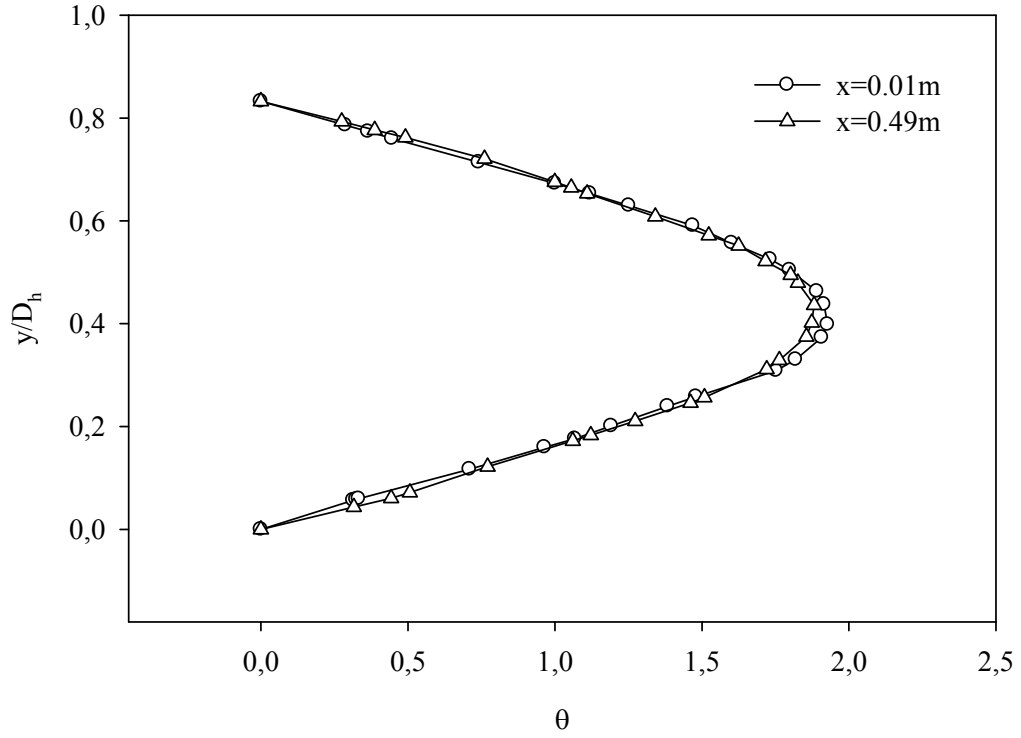
Şekil 4.11. Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi

Şekilde görüldüğü gibi Darcy sürtünme faktörü artan Reynolds sayısı ile azalma göstermiştir. Darcy sürtünme faktörü ile Reynolds sayısı arasındaki bağıntı ampirik olarak şu şekilde ifade edilmiştir:

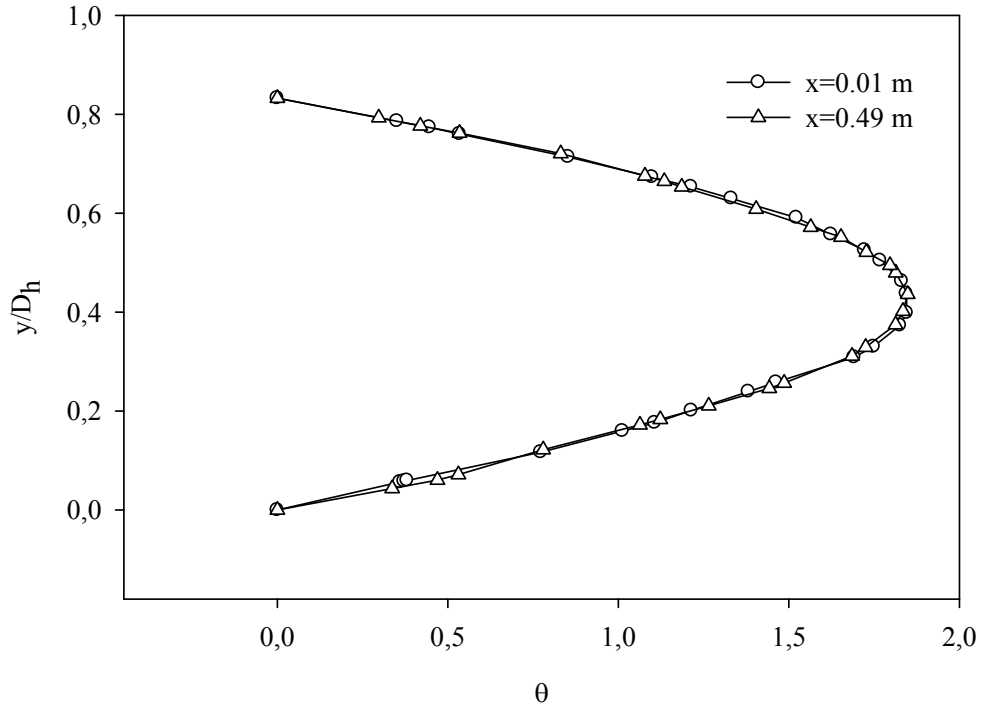
$$f = 64.67 / Re^{0.842} \quad (4.4)$$

Re=100, 300 ve 500 değerleri için kanal giriş ve çıkış kesitinden 10 mm içeride $z=0$ m'de, simetri ekseninde kanal yüksekliği boyunca boyutsuz sıcaklığın, $\theta = (T_w - T(x,y,z))/(T_w - T_b(x))$ [29], boyutsuz kanal yüksekliği boyunca değişimi Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14'de verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi kanal giriş ve çıkışındaki boyutsuz sıcaklık değerleri aynıdır. Periyodik akıştan dolayı bu durum beklenen bir sonuçtur. Bununla beraber kanal içerisindeki boyutsuz sıcaklık değerleri kanal giriş ve çıkış kesitinde aynı

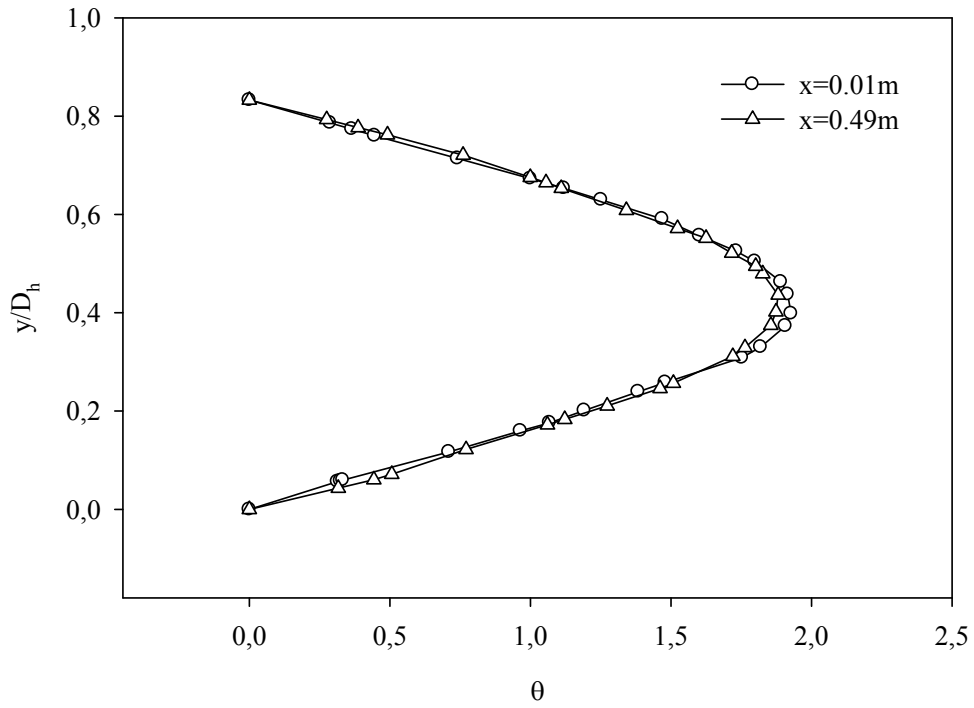
olmasına rağmen sıcaklık eğrilerine bakıldığında (Bkz. Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14) kanal giriş ve çıkışındaki sıcaklık değerleri değişmektedir.



Şekil 4.12. Re=100 için z=0 m'de simetri ekseninde kanal giriş ve çıkış kesiti yakınındaki boyutsuz sıcaklığın boyutsuz kanal yüksekliği boyunca değişimi

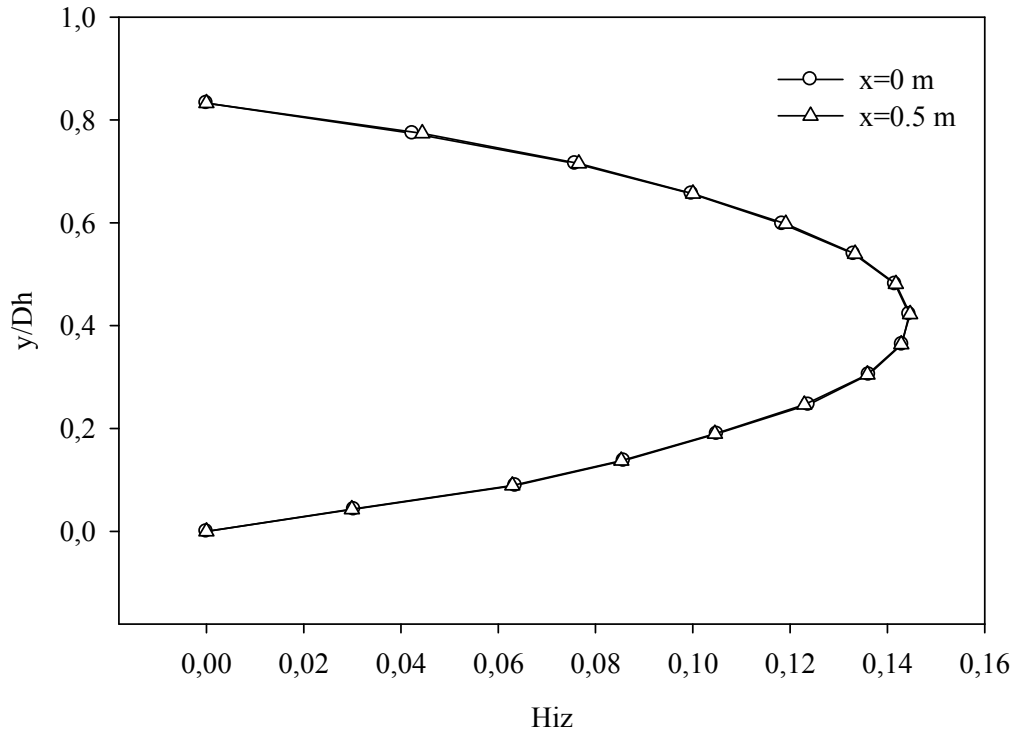


Şekil 4.13. $Re=300$ için $z=0$ m'de simetri ekseninde boyutsuz sıcaklığın boyutsuz kanal yüksekliği boyunca değişimi

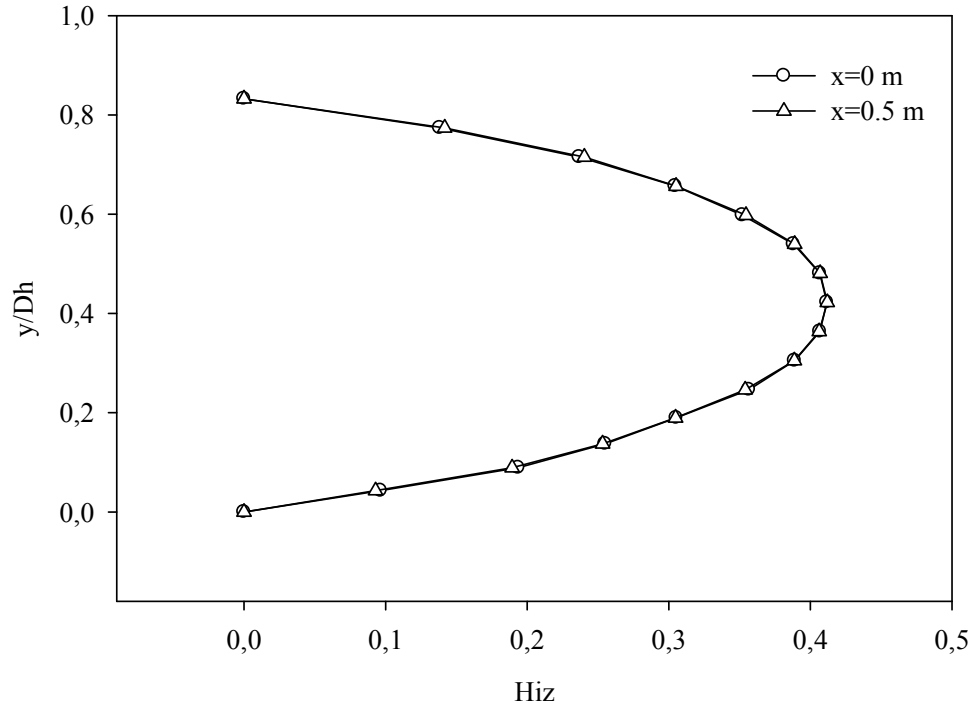


Şekil 4.14. $Re=500$ için $z=0$ m'de simetri ekseninde boyutsuz sıcaklığın boyutsuz kanal yüksekliği boyunca değişimi

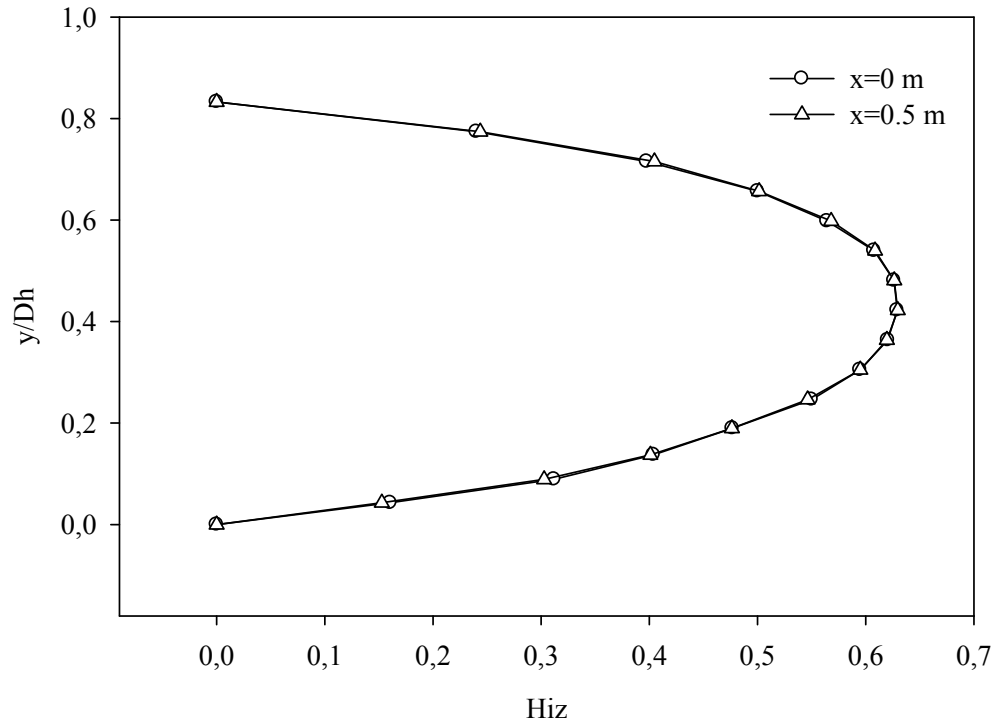
Benzer biçimde kanal giriş ve çıkış kesitindeki $z=0$ m'de simetri ekseninde, boyutsuz kanal yüksekliği boyunca hız büyüklüğü $Re=100$, 300 ve 500 değerleri için Şekil 4.15, 4.16 ve 4.17'de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi kanal giriş ve çıkış kesitindeki hız profilleri aynıdır. Periyodik akış olması nedeniyle zaten bu durum beklenen bir sonuçtur.



Şekil 4.15. $Re=100$ için $z=0$ m simetri ekseninde kanal giriş ve çıkış kesitindeki hız profilleri



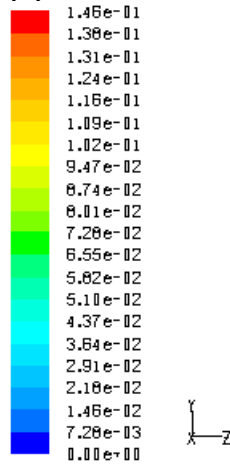
Şekil 4.16. Re=300 için z=0 m'de simetri ekseninde kanal giriş ve çıkış kesitindeki hız profilleri



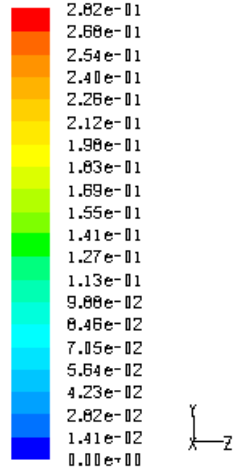
Şekil 4.17. Re=500 için z=0 m'de simetri ekseninde kanal giriş ve çıkış kesitindeki hız profilleri

Şekil 4.18’de Reynolds sayısının değişik değerleri için kanal geometrisinin $x=0$ kesitinden (kanal girişinden) geçirilen düzlemdeki kontur hız profilleri verilmiştir. Kanal girişinde hız merkezde en yüksek değerindeyken, kanal duvarlarına yaklaştıkça gittikçe azalmaktadır. Hız sınır tabakası kanal köşelerinde ve duvarlarında artan Reynolds sayısı ile küçülmektedir. Ayrıca, artan Reynolds sayısı ile kanal merkezine doğru hızın arttığı görülmektedir.

(a) $Re=100$

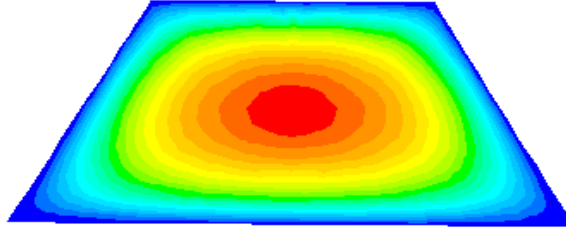
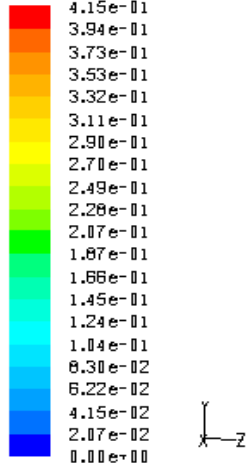


(b) $Re=200$

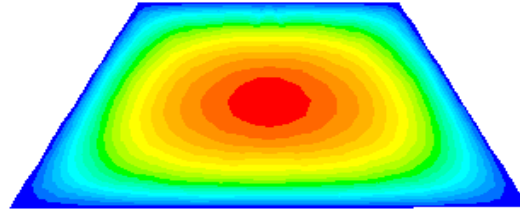
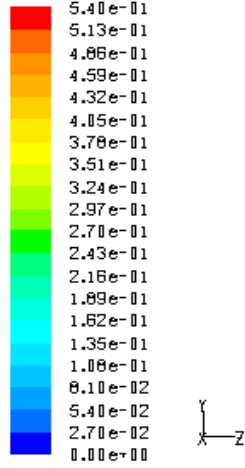


Şekil 4.18. Kanal içersine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için giriş kesitindeki hız konturu

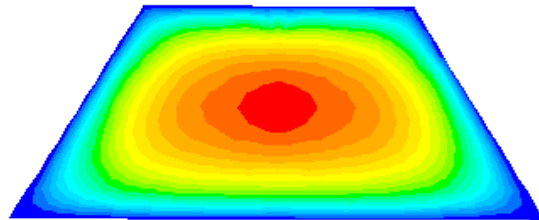
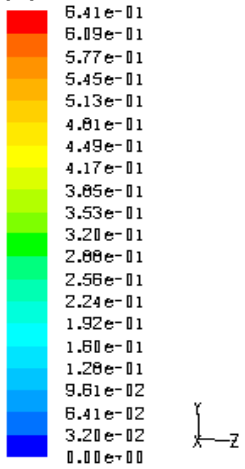
(c) Re=300



(d) Re=400



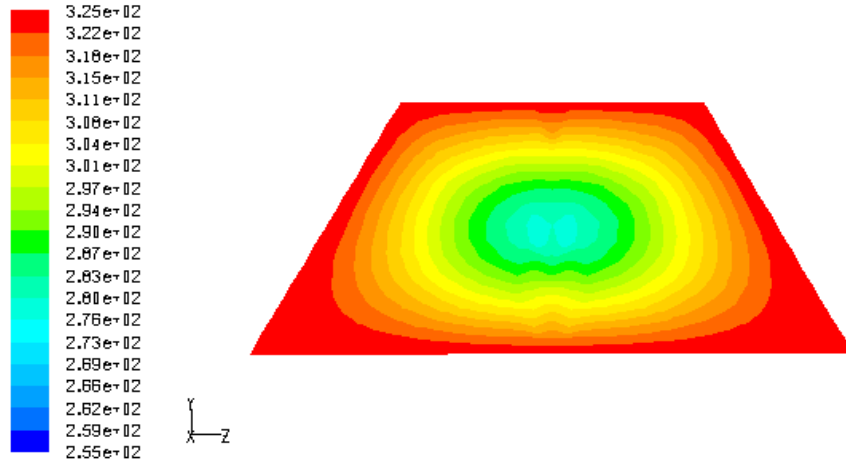
(e) Re=500



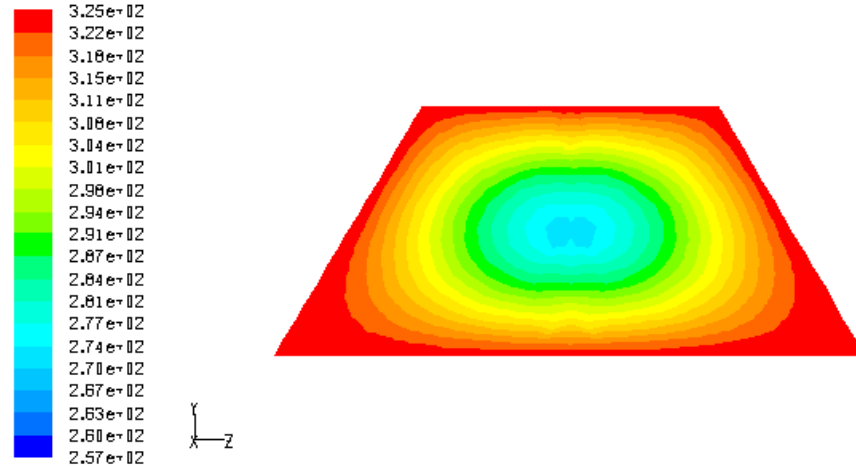
Şekil 4.18(Davam) Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için giriş kesitindeki hız konturu

Şekil 4.19'da Reynolds sayısının değişik değerleri için kanal geometrisinin $x=0$ kesitinden (kanal girişinden) geçirilen düzlemdeki sıcaklık konturları verilmiştir. Sıcaklığın kanal duvarlarında en yüksek değerindeyken merkeze doğru gittikçe azaldığı ve kanal kesitinin merkezinde akışkan sıcaklığının en düşük değerde olduğu anlaşılmaktadır. Burada artan Reynolds sayısı ile sıcaklığın daha az düşme eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır. Diğer bir ifade ile söylemek gerekirse artan Reynolds sayısı ile sıcaklık sınır tabakası kalınlığı küçülmüştür. Bu ise ısı transferinde artışa neden olmaktadır.

(a) $Re=100$

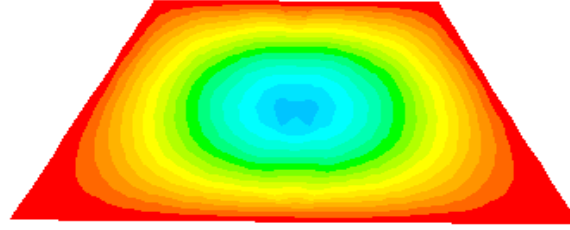
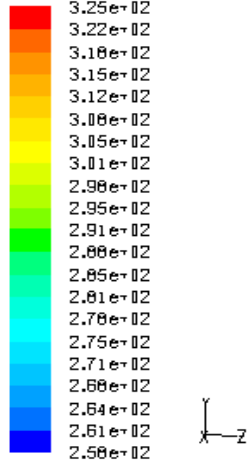


(b) $Re=200$

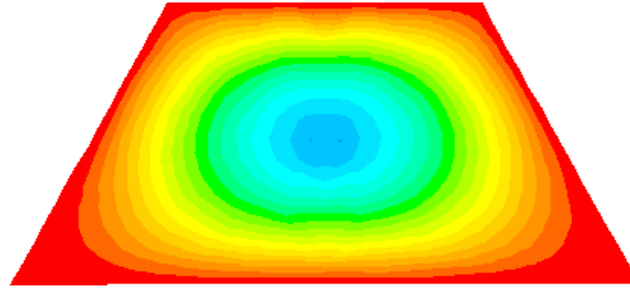
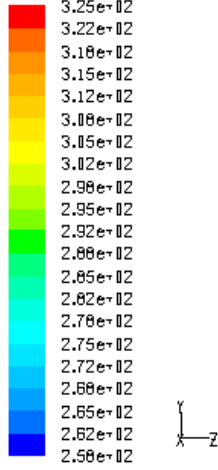


Şekil 4.19. Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için kanal giriş kesitindeki sıcaklık konturu

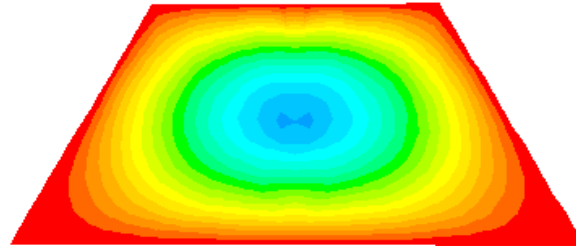
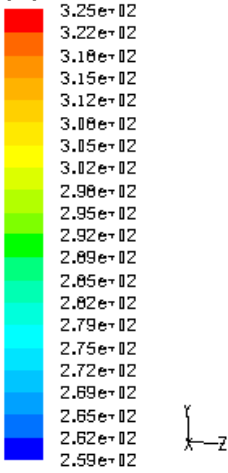
(c) Re=300



(d) Re=400



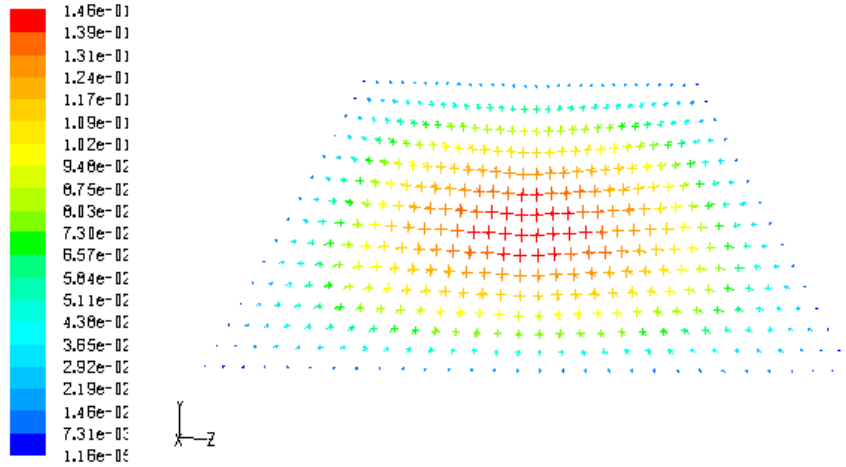
(d) Re=500



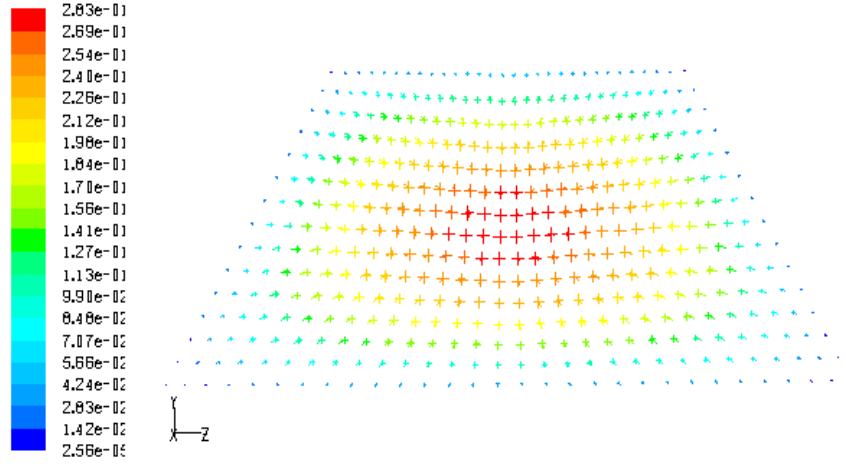
Şekil 4.19(Davam) Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için kanal giriş kesitindeki sıcaklık konturu

Şekil 4.20’de Reynolds sayısının değişik değerleri için kanal geometrisinin $x=0$ kesitinden (kanal girişinden) geçirilen düzlemdeki hız vektörleri verilmiştir. Daha önce hız konturlarında olduğu gibi hız vektörlerinden de artan akışkan hızı ile kanal merkezindeki akışkan hızının arttığı görülmektedir.

(a) $Re=100$

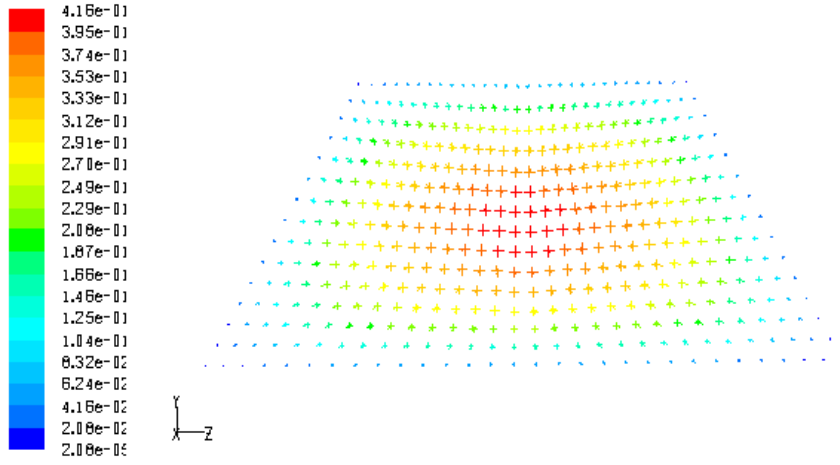


(b) $Re=200$

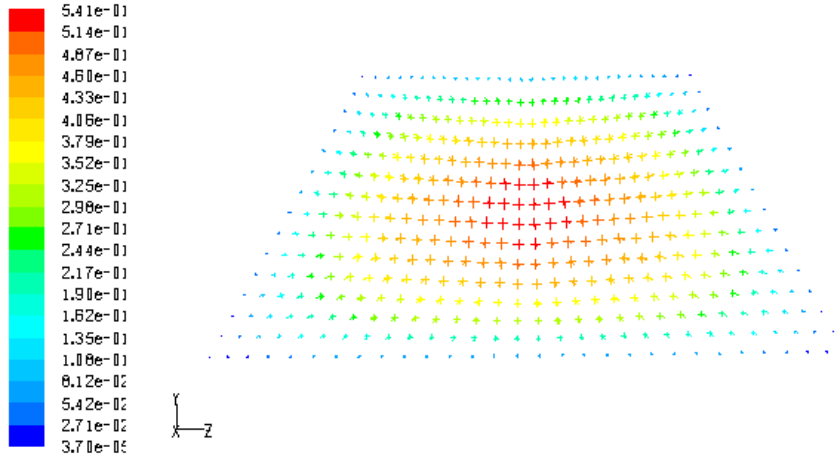


Şekil 4.20. Kanal içersine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için kanal giriş kesitindeki hız vektörleri

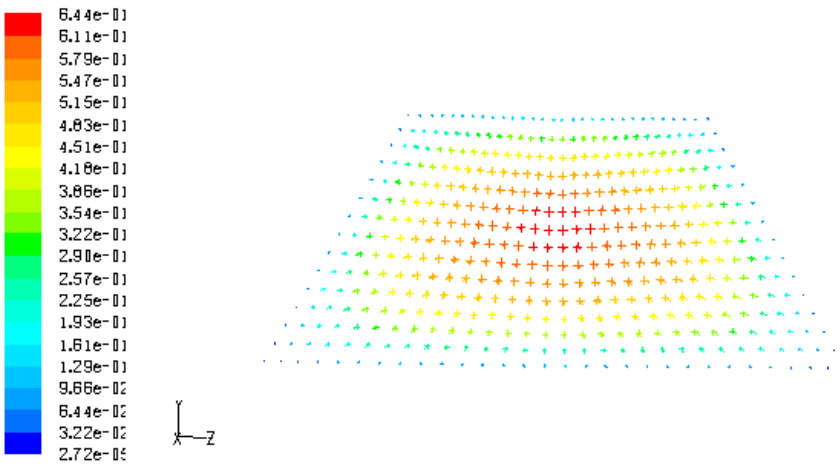
(c) Re=300



(d) Re=400



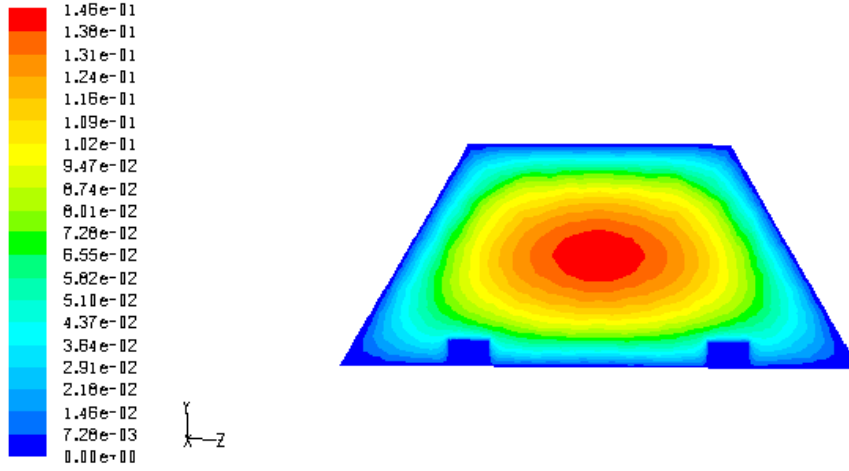
(e) Re=500



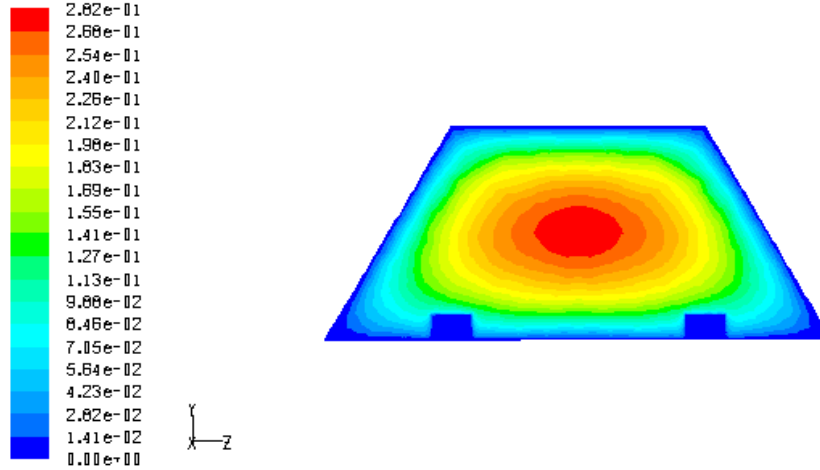
Şekil 4.20(Davam) Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için kanal giriş kesitindeki hız vektörleri

Şekil 4.21’de kanal girişinden $x=0.1$ m mesafede bulunan, yani blokların ortasından geçen düzlemdeki hız konturları Reynolds sayısının değişen değerleri için verilmiştir. Artan Reynolds sayısı ile duvar yakınındaki, kanal köşelerindeki ve bloklar ile kanal taban duvarının birleşim bölgesindeki hız sınır tabakası kalınlığının küçüldüğü gözlenmektedir.

(a) $Re=100$

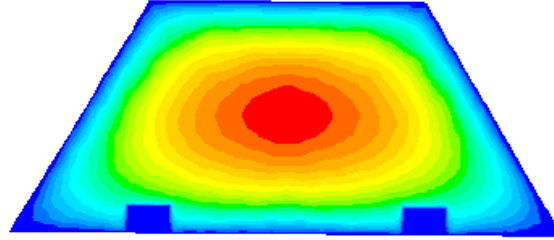
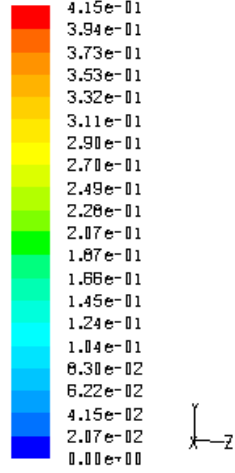


(b) $Re=200$

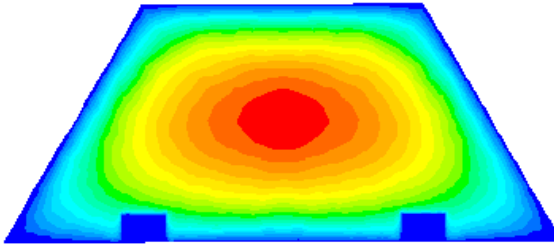
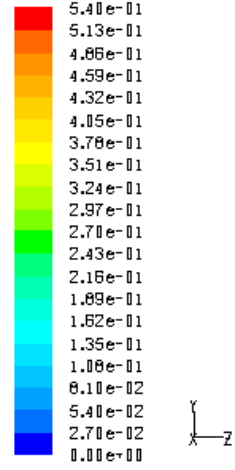


Şekil 4.21. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 4$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m kesitinden geçen düzlemdeki hız konturu

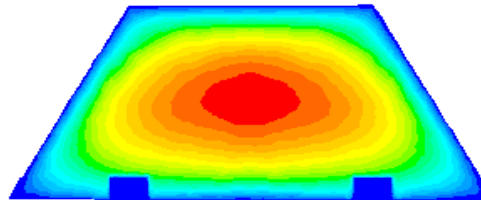
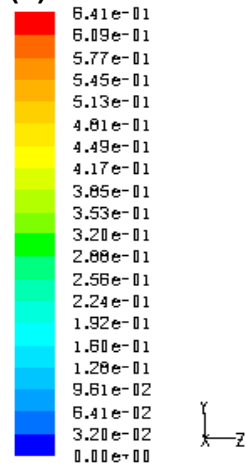
(c) Re=300



(d) Re=400



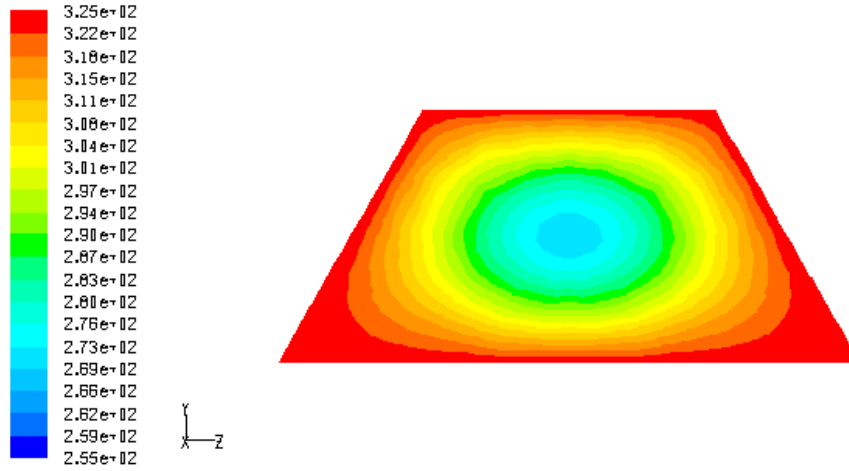
(e) Re=500



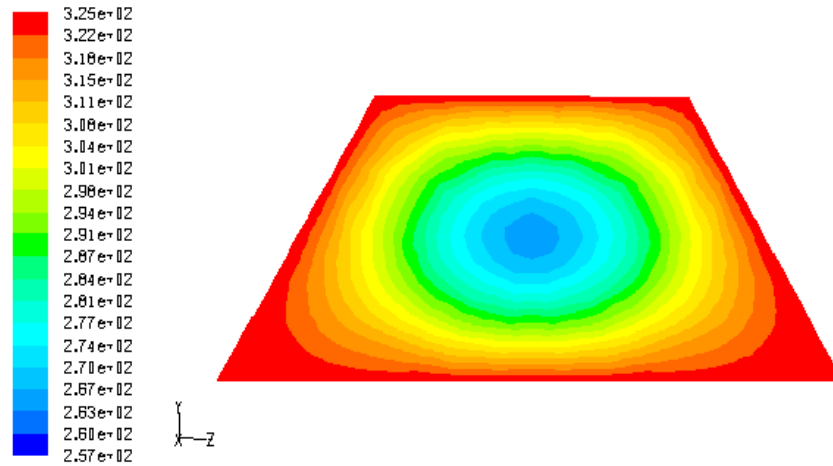
Şekil 4.21(Davam) Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m kesitinden geçen düzlemdeki hız konturu

Şekil 4.22’de kanal girişinden $x=0.1$ m mesafede bulunan blokların ortasından geçen düzlemdeki sıcaklık konturları farklı Reynolds sayıları için sunulmuştur. Reynolds sayısı, dolayısıyla akışkan hızı arttıkça bu kesitte de sıcaklık kanal merkezinde daha yüksek değere ulaşmıştır. Blokların bulunduğu bölümlerde Reynolds sayısındaki artışla daha düşük sıcaklık gözlenmiştir.

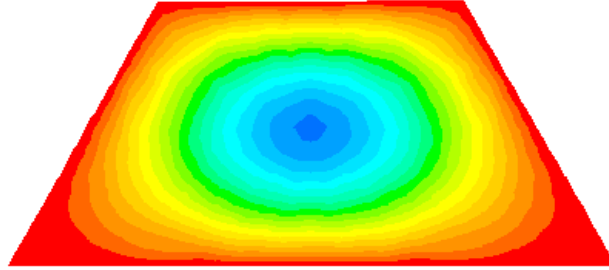
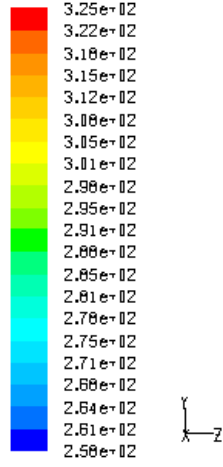
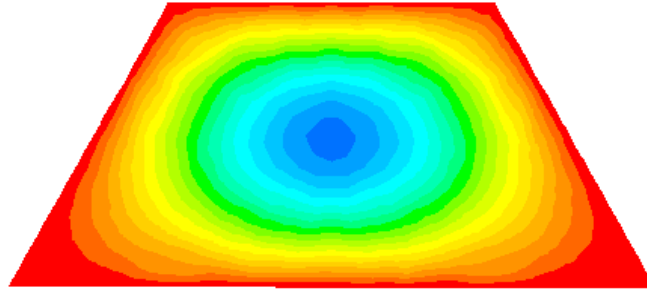
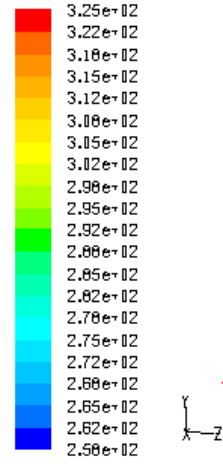
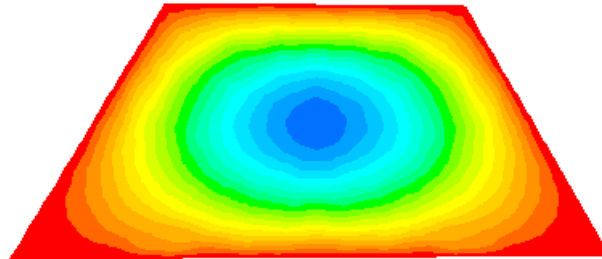
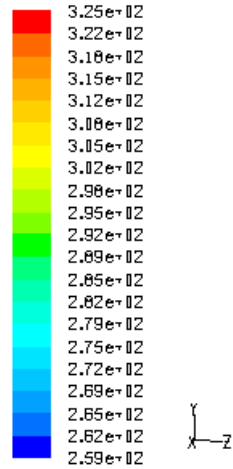
(a) $Re=100$



(b) $Re=200$



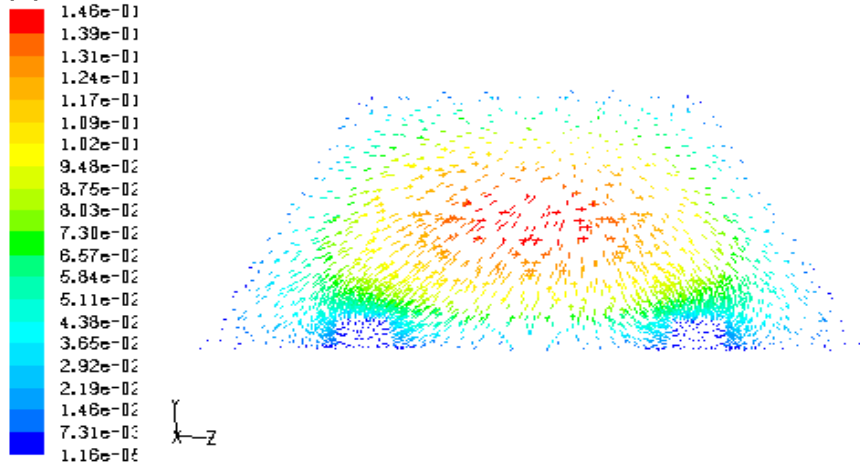
Şekil 4.22. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 4$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları

(c) $Re=300$ (d) $Re=400$ (e) $Re=500$ 

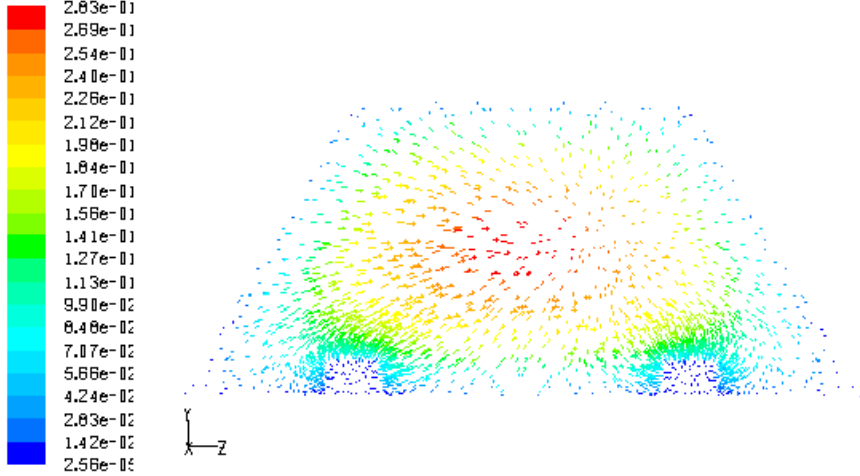
Şekil 4.22(Devam) Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları

Şekil 4.23'de Reynolds sayısının değişik değerleri için kanal girişinden $x=0.1$ m mesafede bulunan blokların ortasından geçen düzlemdeki hız vektörleri verilmiştir. Kanal içerisinde bulunan $6 \times 6 \times 4$ mm ölçülerindeki blokların akışkan hızına etkisi şekillerde görülmektedir. Blokların üzerindeki bölgede akışkan hızındaki düşüşte bir geçiş bölgesi oluşmuştur.

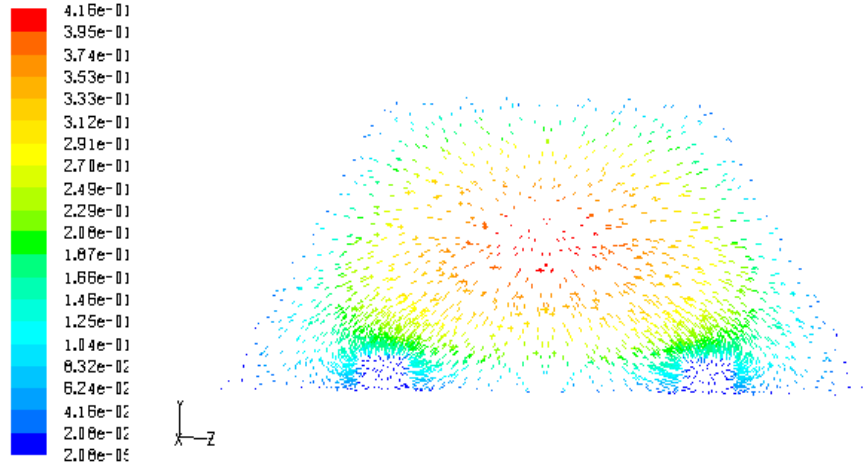
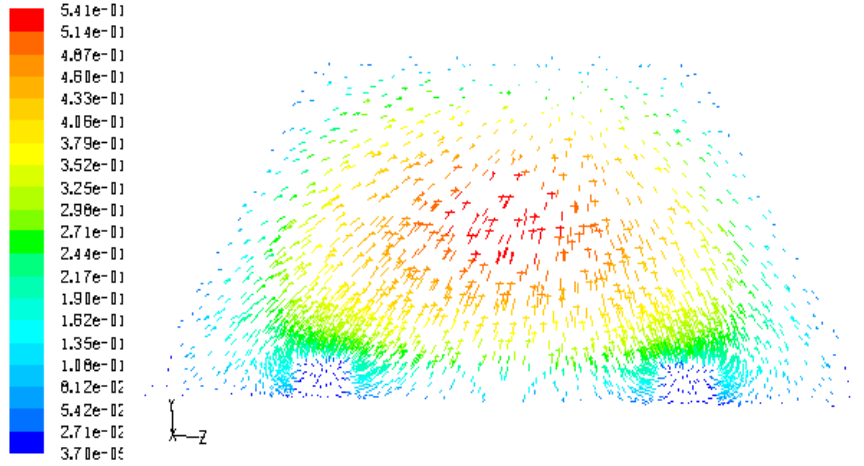
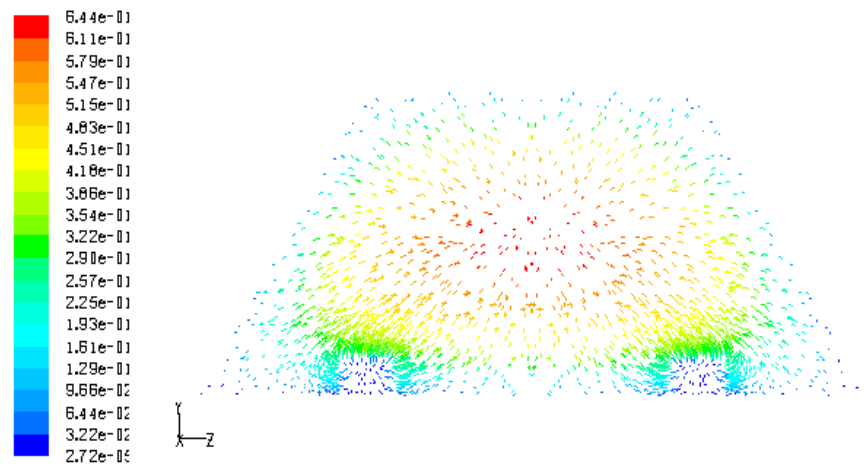
(a) $Re=100$



(b) $Re=200$



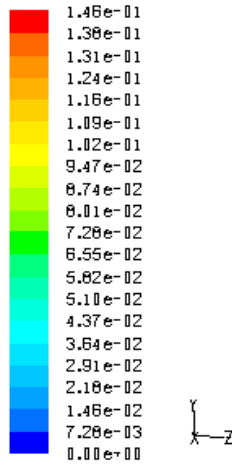
Şekil 4.23. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 4$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m mesafedeki hız vektörleri

(c) $Re=300$ (d) $Re=400$ (e) $Re=500$ 

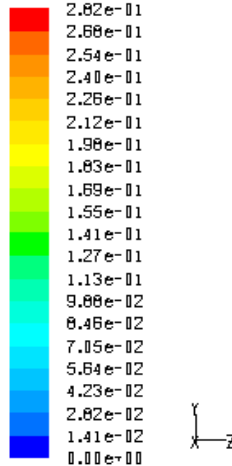
Şekil 4.23(Davam) Kanal içerisine $6 \times 6 \times 4$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m mesafedeki hız vektörleri

Şekil 4.24'de kanal girişinden $x=0.4$ m mesafede bulunan blokların ortasından geçen düzlemdeki hız konturları farklı Reynolds sayıları için sunulmuştur. Reynolds sayısının değişimi ile hız dağılımı da değişiklik göstermektedir. Reynolds sayısındaki artışla duvar yakınındaki, kanal köşelerindeki ve bloklarla kanal taban duvarının birleşim bölgesindeki hız tabakasındaki küçülmenin bu kesitte de devam ettiği görülmektedir. Bloklar akışkanın hız konturlarının şekillenmesinde etkili olmuştur.

(a) $Re=100$

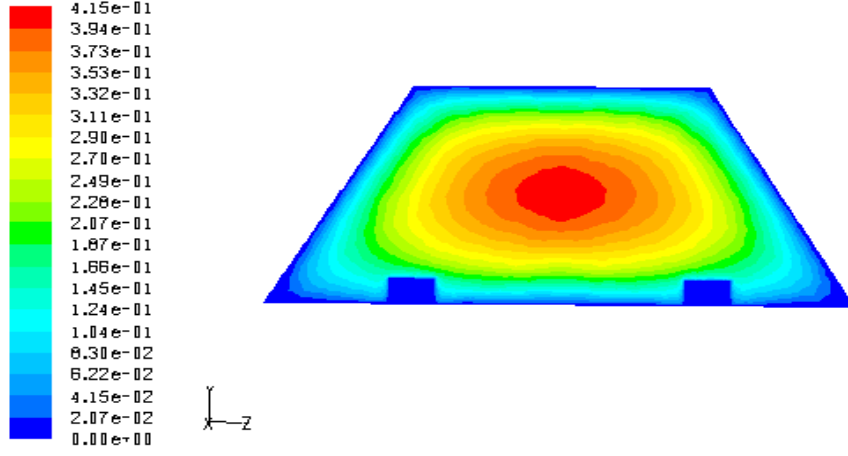


(b) $Re=200$

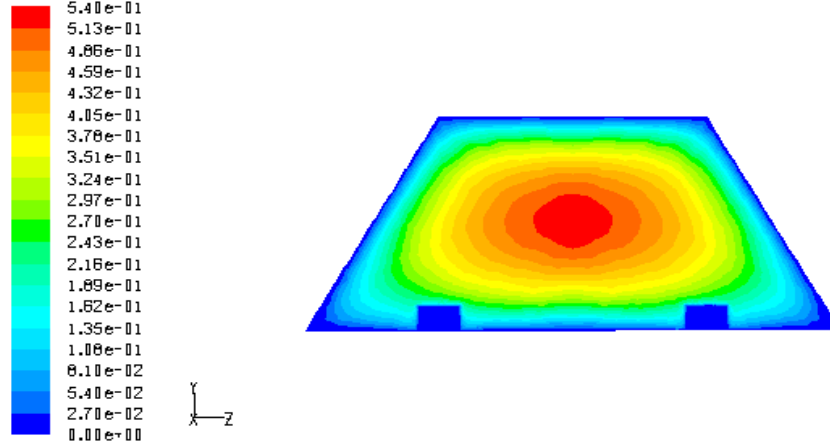


Şekil 4.24. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 4$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinden geçen düzlemdeki hız konturu

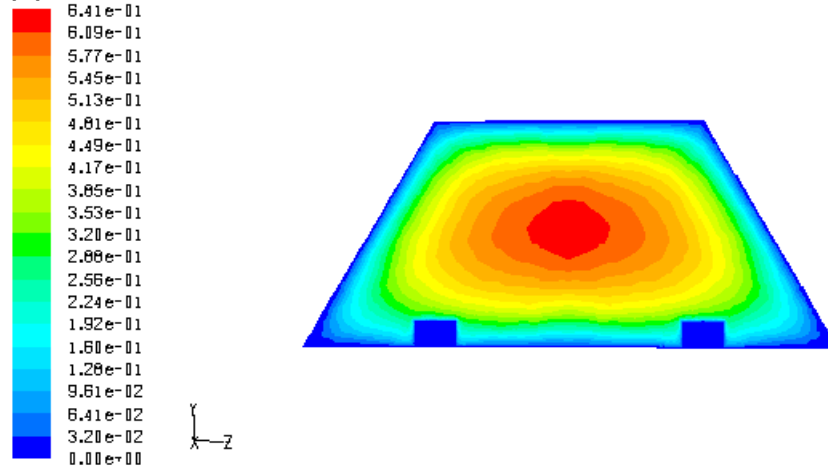
(c) Re=300



(d) Re=400



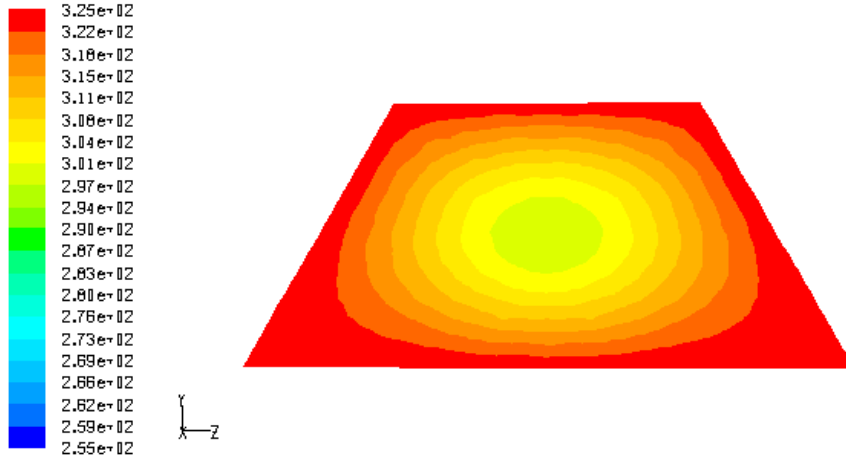
(e) Re=500



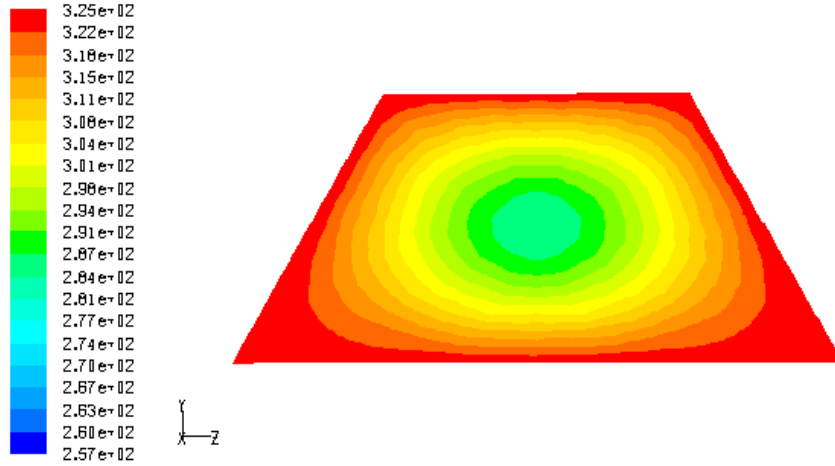
Şekil 4.24(Devam) Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinden geçen düzlemdeki hız konturu

Şekil 4.25'de kanal girişinden $x=0.4$ m mesafede bulunan blokların ortasından geçen düzlemdeki sıcaklık konturları farklı Reynolds sayıları için sunulmuştur. Blokların sıcaklık dağılımına etkisinin Reynolds sayısının artmasıyla daha belirgin olduğu şekillerden görülmektedir. Kanal girişinden $x=0.4$ m uzaklıktaki kesitte kanal merkezinde akışkan sıcaklığının artan Reynolds sayısı ile giderek yükseldiği anlaşılmaktadır.

(a) $Re=100$

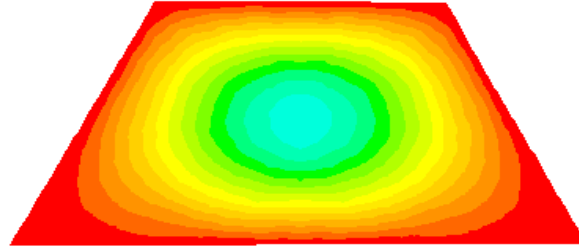
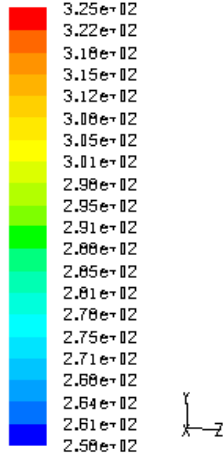


(b) $Re=200$

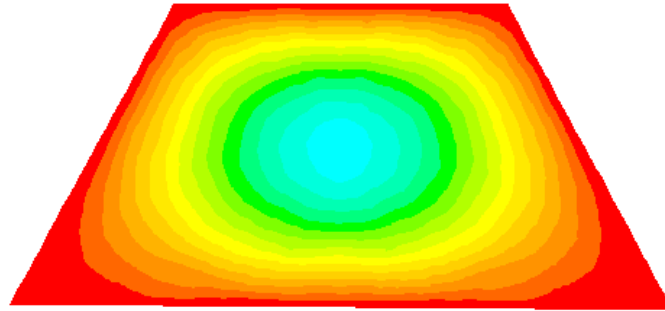
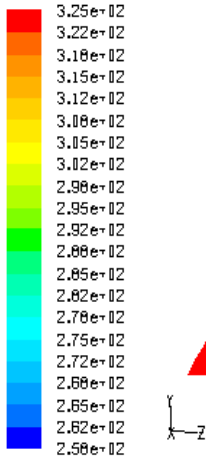


Şekil 4.25. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 4$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları

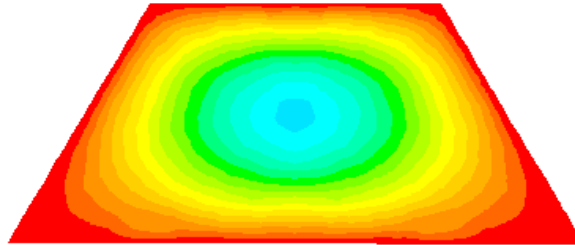
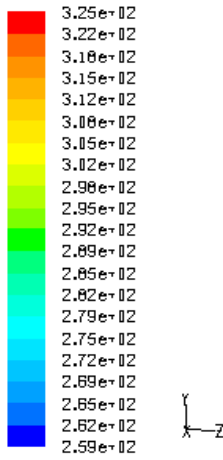
(c) Re=300



(d) Re=400



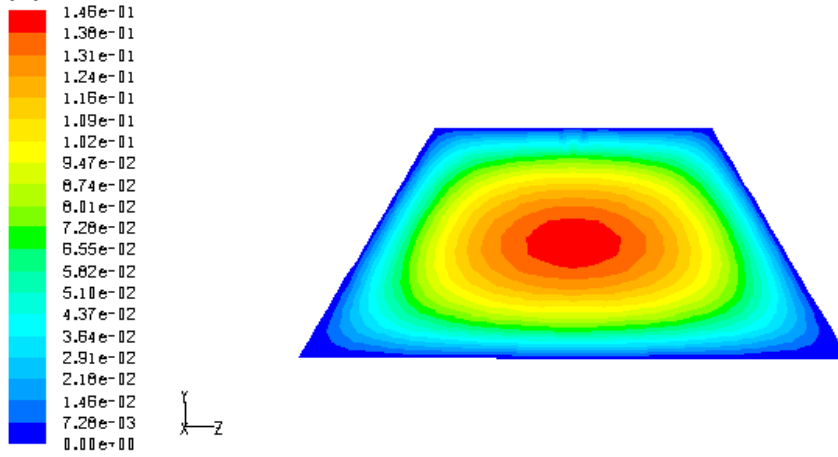
(e) Re=500



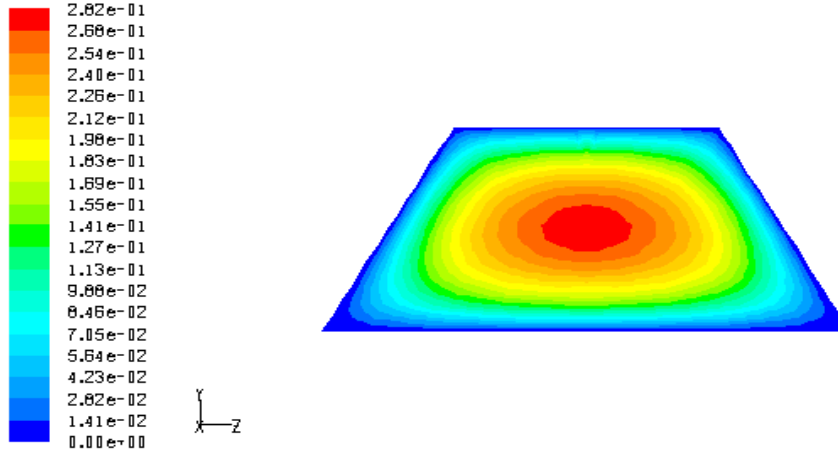
Şekil 4.25(Davam) Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları

Şekil 4.26'da kanal girişinden $x=0.5$ m mesafedeki düzlem olan kanal çıkışından geçen düzlemdeki hız konturları Reynolds sayısının 100, 200, 300, 400 ve 500 değerleri için sırasıyla verilmiştir. Reynolds sayısının dolayısıyla kanal içindeki akışkanın hızının artmasıyla duvar yakınındaki hız sınır tabakası küçülmektedir.

(a) $Re=100$

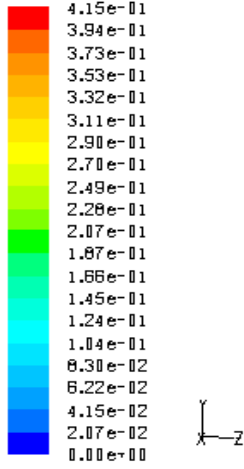


(b) $Re=200$

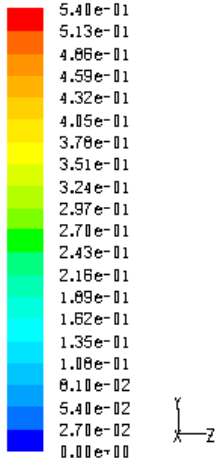


Şekil 4.26. Kanal içine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için çıkış kesitindeki hız konturları

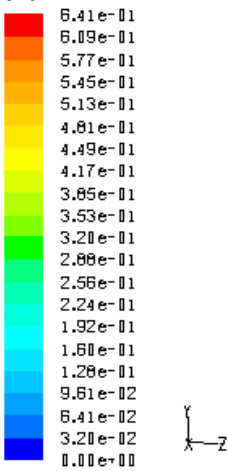
(c) Re=300



(d) Re=400



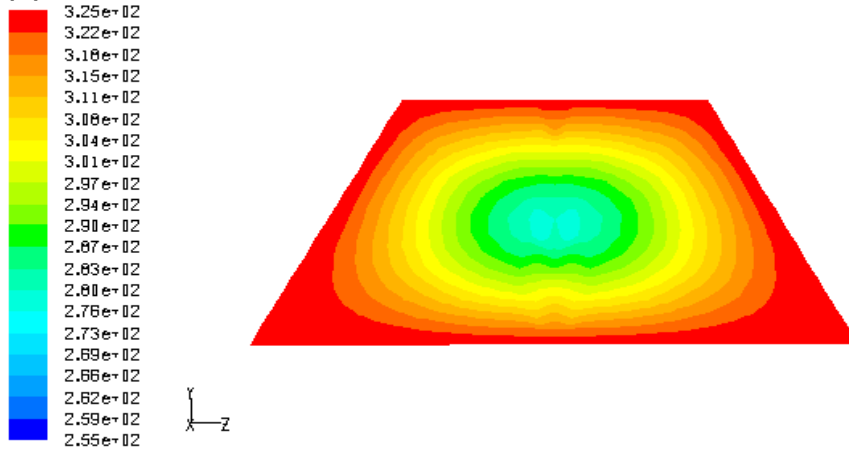
(e) Re=500



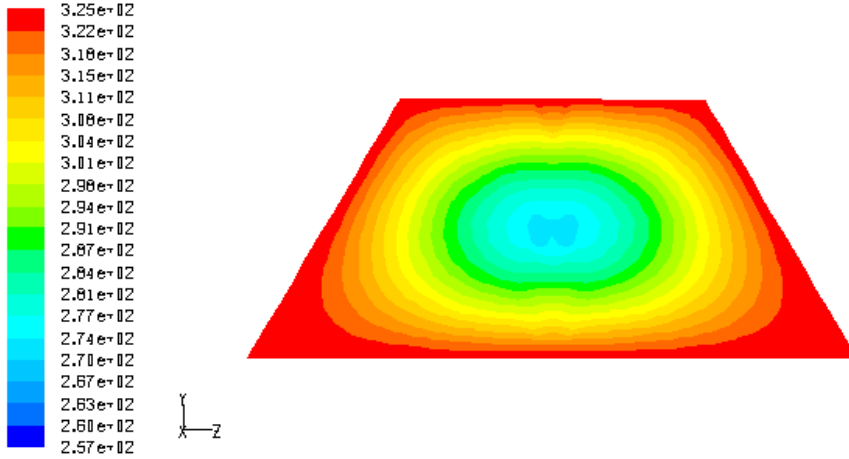
Şekil 4.26(Davam) Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için çıkış kesitindeki hız konturları

Şekil 4.27’de kanal girişinden $x=0.5$ m mesafedeki düzlem olan kanal çıkışından geçen düzlemdeki sıcaklık konturları sırasıyla Reynolds sayısının 100, 200, 300, 400 ve 500 değerleri için gösterilmiştir. Bu düzlemde de kanal merkezindeki sıcaklık Reynolds sayısındaki artışla daha yüksek değere ulaşmaktadır.

(a) $Re=100$

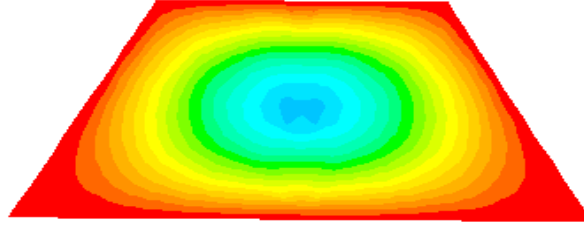
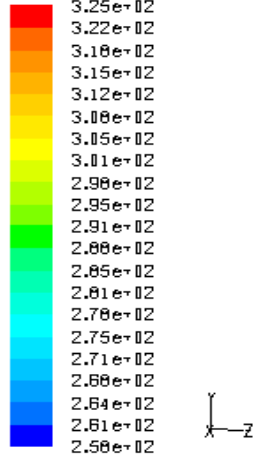


(b) $Re=200$

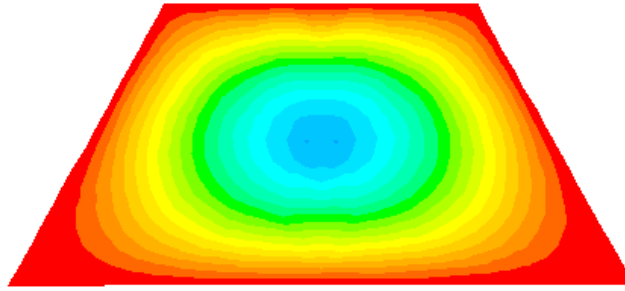
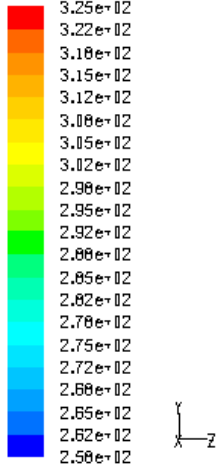


Şekil 4.27. Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için kanal çıkış kesitindeki sıcaklık konturları

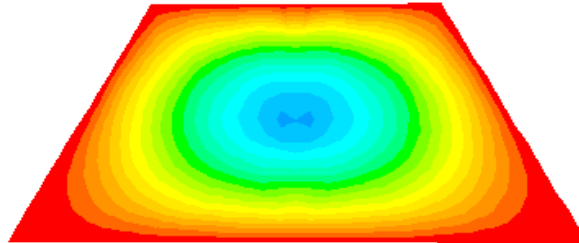
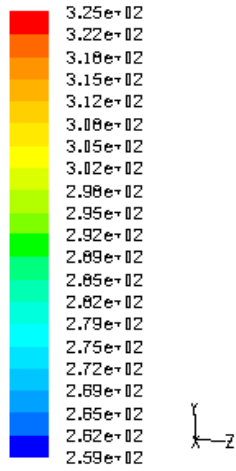
(c) Re=300



(d) Re=400

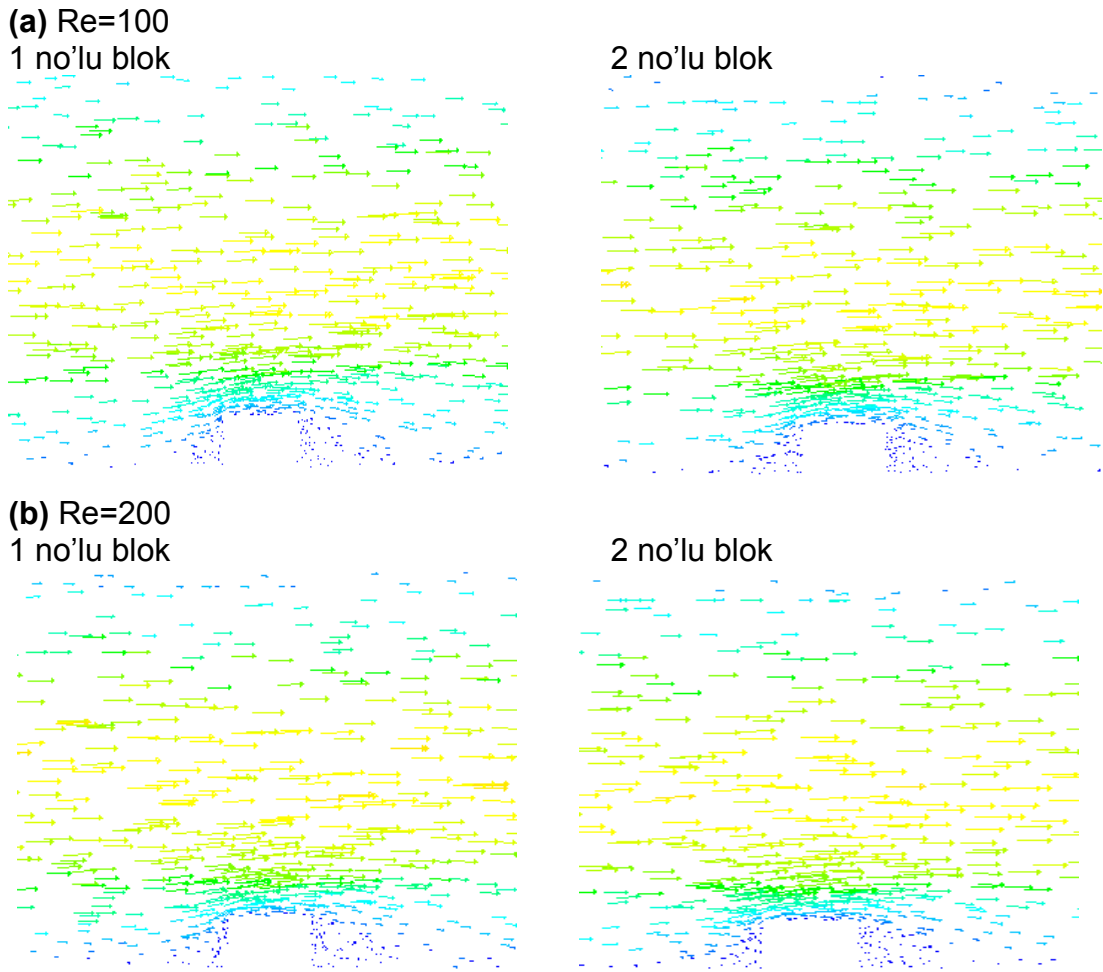


(e) Re=500



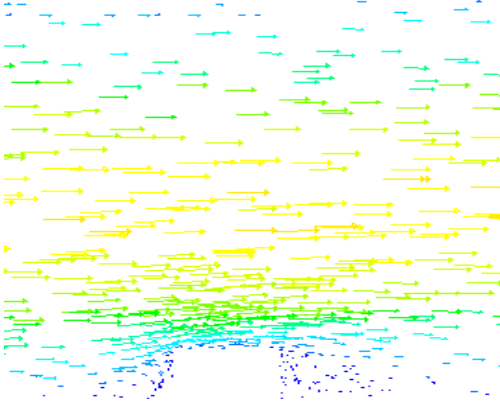
Şekil 4.27(Devam) Kanal içersine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için kanal çıkış kesitindeki sıcaklık konturları

Blokların tam üzerinden geçen ($z=0.02$ m) x-y düzleminde bloklar etrafındaki hız vektörleri farklı Reynolds sayıları için Şekil 4.28'de verilmiştir. Kanal girişine yakın olan blok 1 numaralı blok, kanal çıkışına yakın olan blok ise 2 numaralı blok olarak adlandırılmıştır. Blokların arkasında oluşan düşük akışkan hızındaki bölge artan Reynolds sayısı ile daha belirgin olmuştur. Reynolds sayısındaki artış her iki blok önünde akışkanda daha ani hız kaybına neden olmuştur.

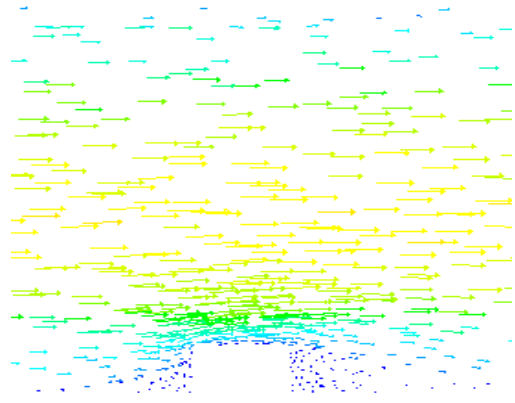


Şekil 4.28. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 4$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki hız vektörlerinin farklı Reynolds sayıları için görünümü

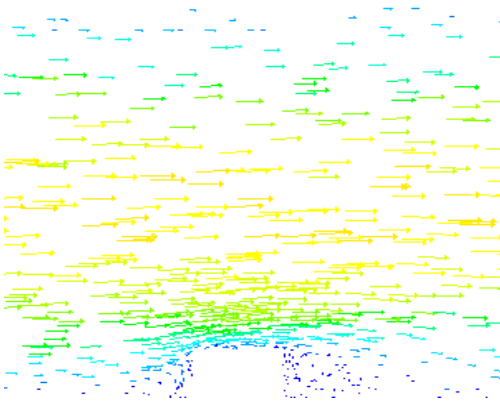
(c) $Re=300$
1 no'lu blok



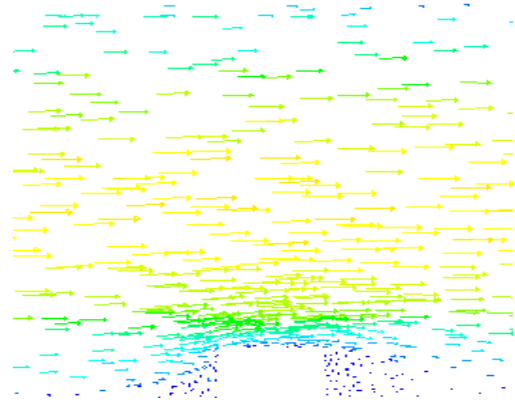
2 no'lu blok



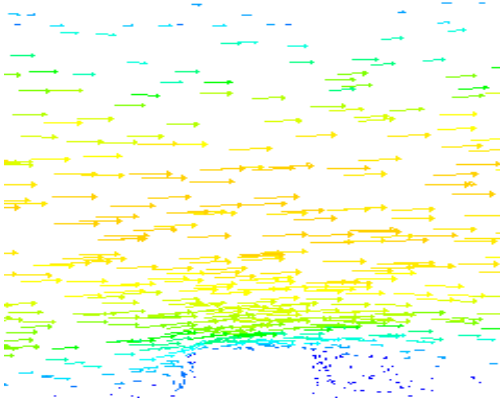
(d) $Re=400$
1 no'lu blok



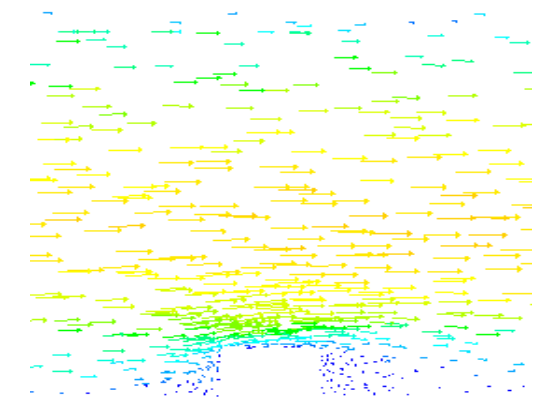
2 no'lu blok



(e) $Re=500$
1 no'lu blok



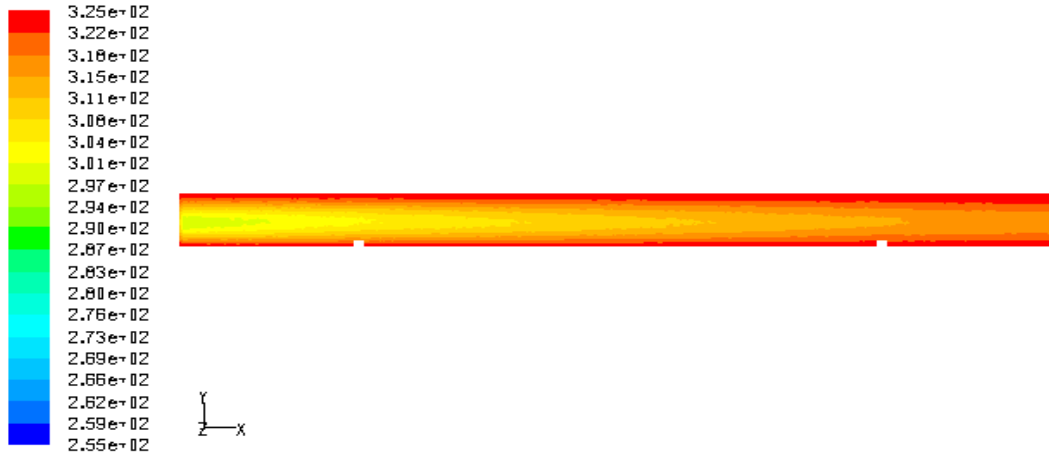
2 no'lu blok



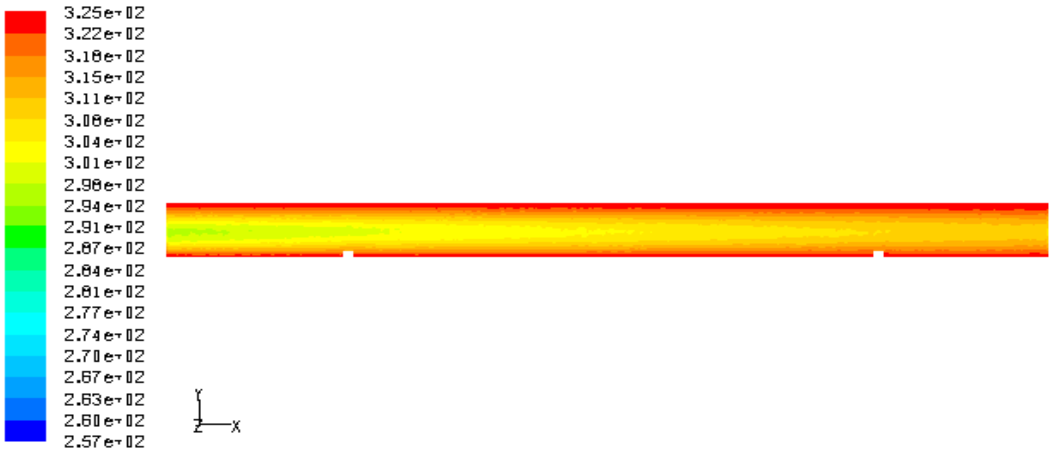
Şekil 4.28(Devam) Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki hız vektörlerinin farklı Reynolds sayıları için görünümü

Blokların tam üzerinden geçen ($z=0.02$ m) x-y düzleminde farklı Reynolds sayıları için sıcaklık konturları Şekil 4.29'da verilmiştir. Kanala giren akışkan kanal içerisinde sıcaklığı artarak ilerlemektedir. Bu artış Reynolds sayısı düşük iken daha çabuk gerçekleşirken, Reynolds sayısı yani akışkan hızı artınca yaklaşık olarak tüm kanal boyunca sürmektedir. Isıl sınır tabaka kalınlığı artan Reynolds sayısı ile azalma göstermekle birlikte tüm Reynolds değerleri için kanal üst duvarı yakınında alt duvara göre daha fazladır.

(a) $Re=100$

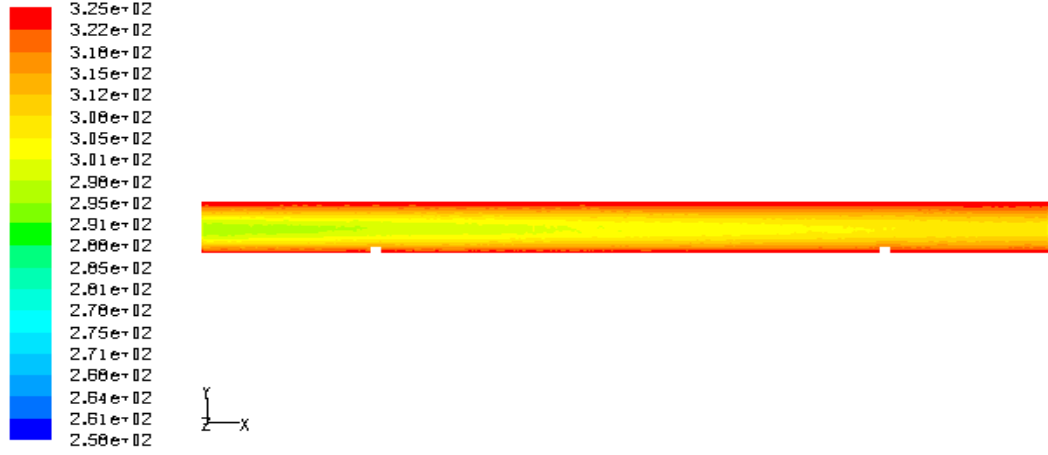


(b) $Re=200$

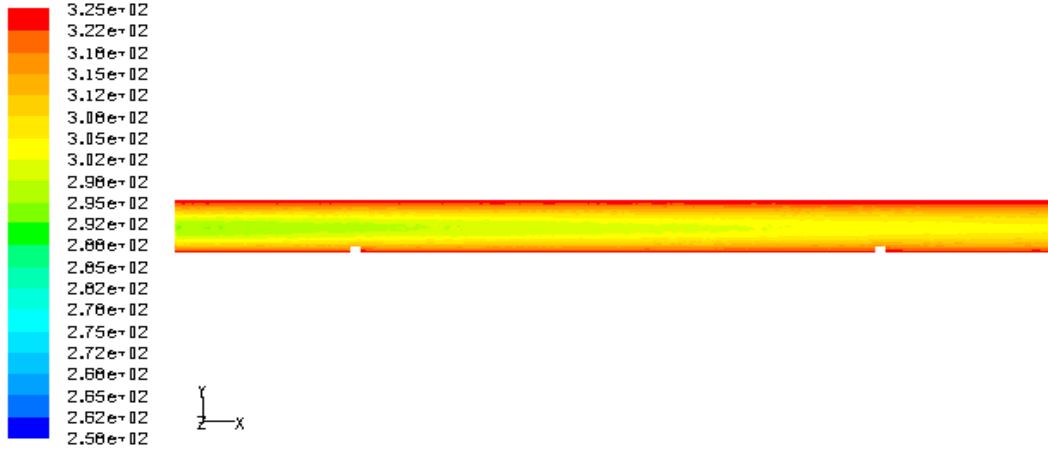


Şekil 4.29. Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki sıcaklık konturlarının farklı Reynolds sayıları için görünümü

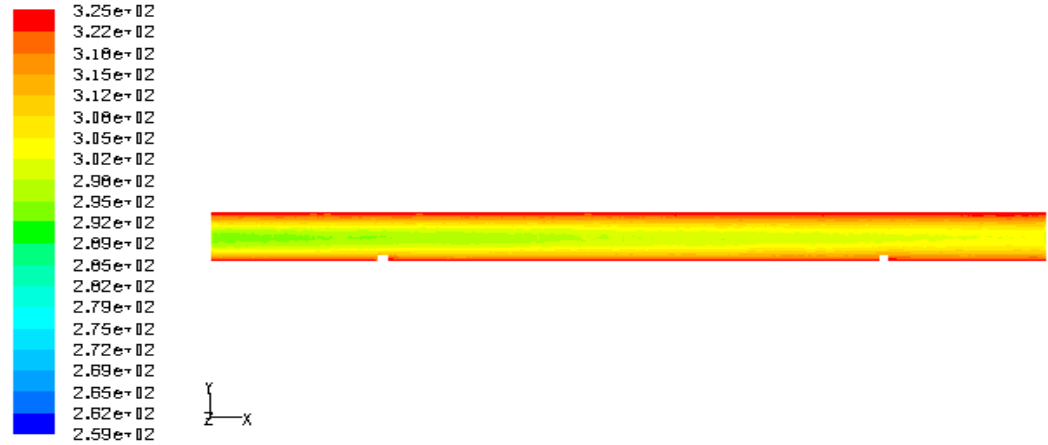
(c) Re=300



(d) Re=400



(e) Re=500

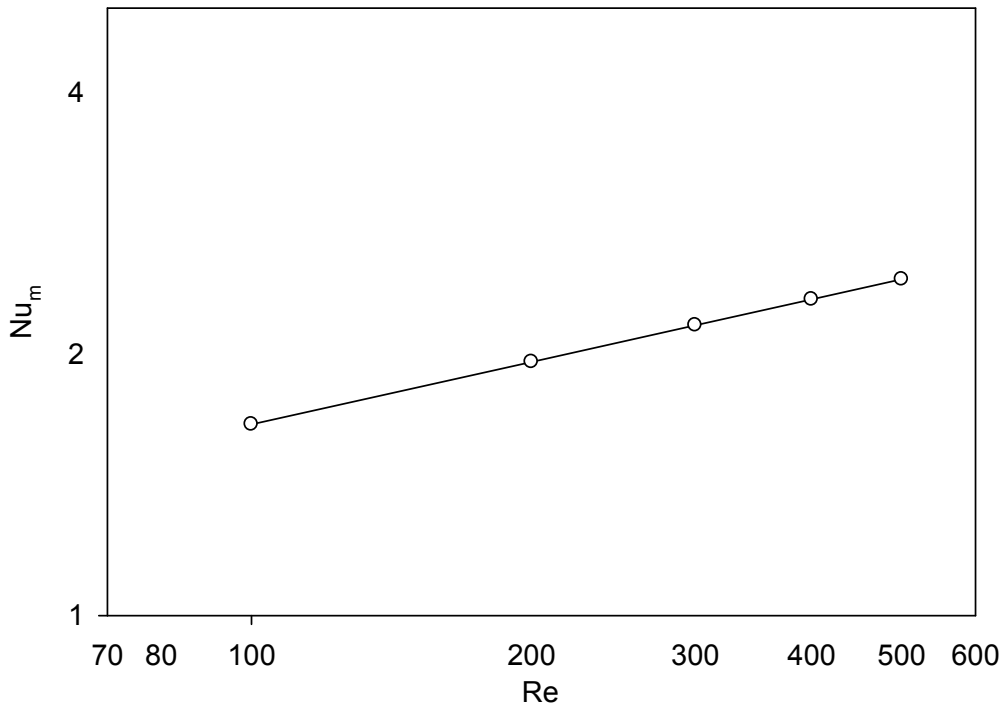


Şekil 4.29(Devam) Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki sıcaklık konturlarının farklı Reynolds sayıları için görünümü

4.3. İçerisinde 6x6x5 mm'lik Bloklar Bulunan Kanal İçin Yapılan Sayısal Çalışma Sonuçları

Yamuk kesitli kanal içerisine 6x6x5 mm ölçülerindeki 4 adet bloğun yerleştirildiği durum için sayısal çalışmalar yapılmıştır. Blokların kanal içerisindeki yerleşimi Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Sayısal çalışmalar Reynolds sayısının 100, 200, 300, 400 ve 500 değerleri için gerçekleştirilmiştir.

Ortalama Nusselt sayısı değerleri değişik Reynolds sayıları için Şekil 4.30'da verilmiştir. Beklenildiği gibi Reynolds sayısının artması ile ortalama Nusselt sayısı da artış göstermiştir.

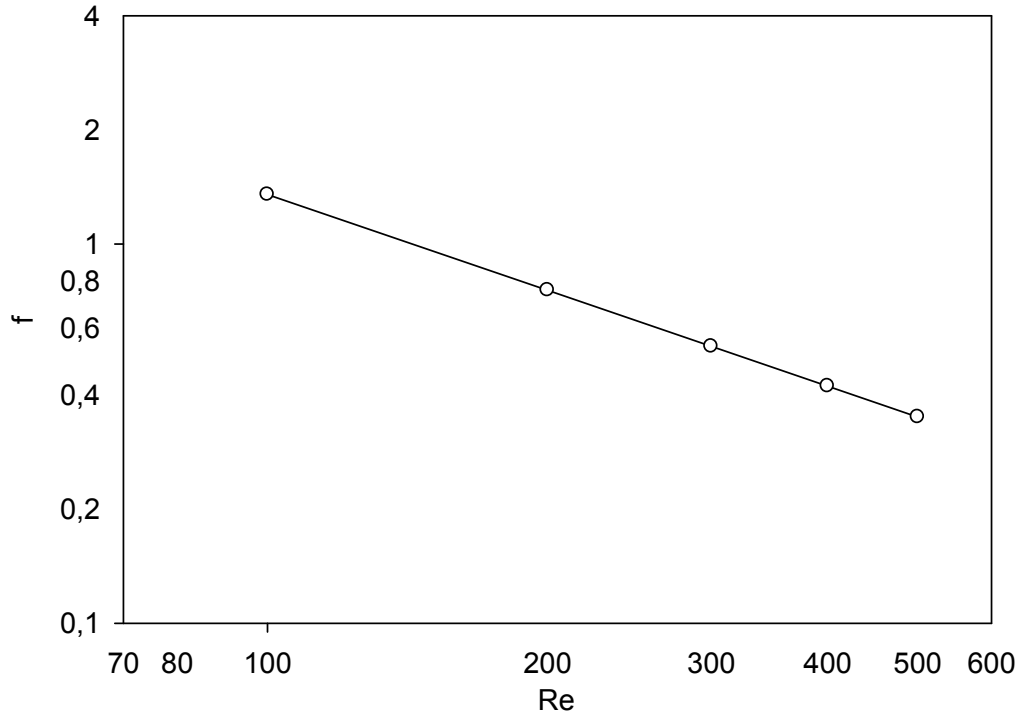


Şekil 4.30. Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

En küçük kareler yöntemi kullanılarak yamuk kesitli kanal içerisinde 6x6x5 mm ölçülerinde blokların yerleştirildiği durum için ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki ampirik olarak şöyle ifade edilmiştir:

$$Nu_m = 0.552 Re^{0.239} \quad (4.5)$$

Kanal içerisinde Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi ise Şekil 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.31. Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi

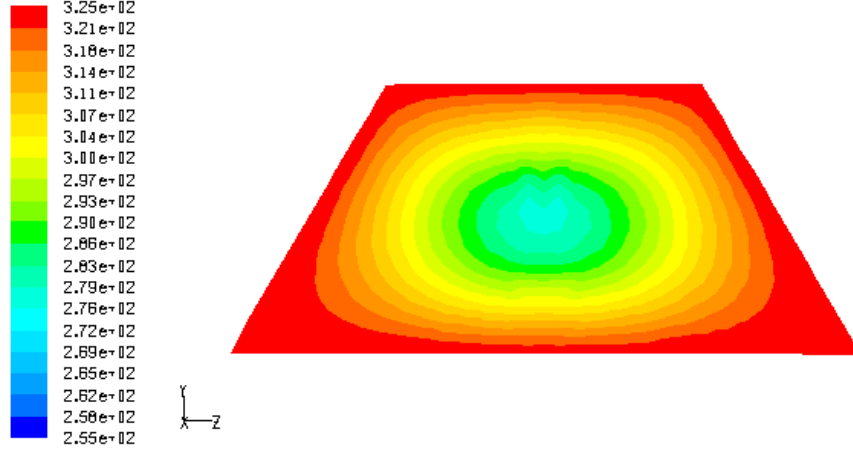
Şekilde görüldüğü gibi Darcy sürtünme faktörü artan Reynolds sayısı ile azalma göstermiştir. Darcy sürtünme faktörü ile Reynolds sayısı arasındaki bağıntı ampirik olarak şu şekilde ifade edilmiştir:

$$f = 64.34 / Re^{0.839} \quad (4.6)$$

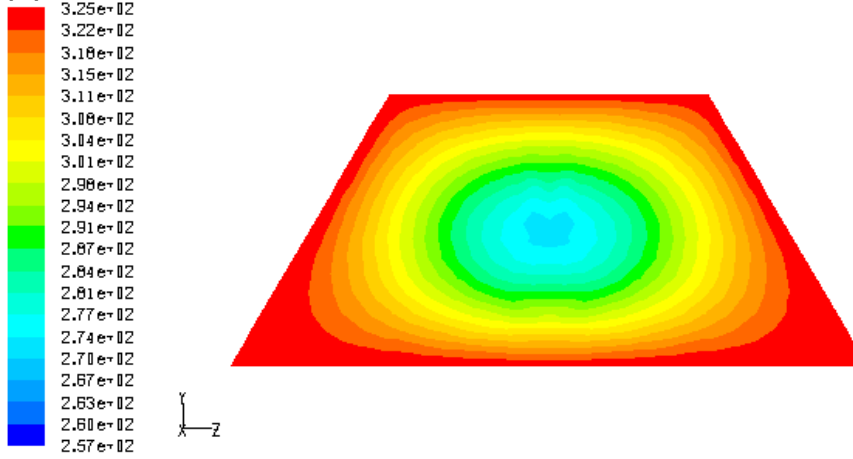
Şekil 4.32'de kanal girişinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları sırasıyla Reynolds sayısının 100, 200, 300, 400 ve 500 değerleri için verilmiştir. Sıcaklık sınır tabakası Reynolds sayısının artmasıyla azalmıştır. Bu ise ısı transferinin artması demektir. Kanal giriş kesitinin merkezindeki akışkan

sıcaklığı Reynolds sayısındaki artışla birlikte yükselirken Reynolds sayısının 500 değeri için en yüksek değerine ulaşmaktadır.

(a) $Re=100$

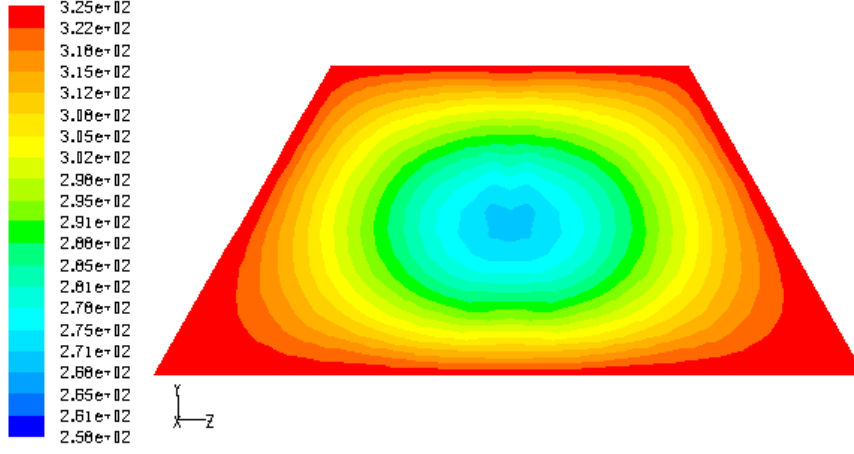


(b) $Re=200$

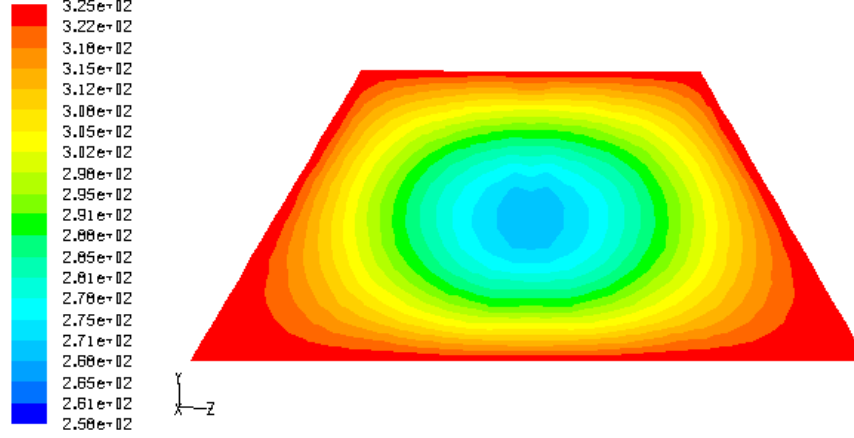


Şekil 4.32. Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında giriş kesitindeki sıcaklık konturları

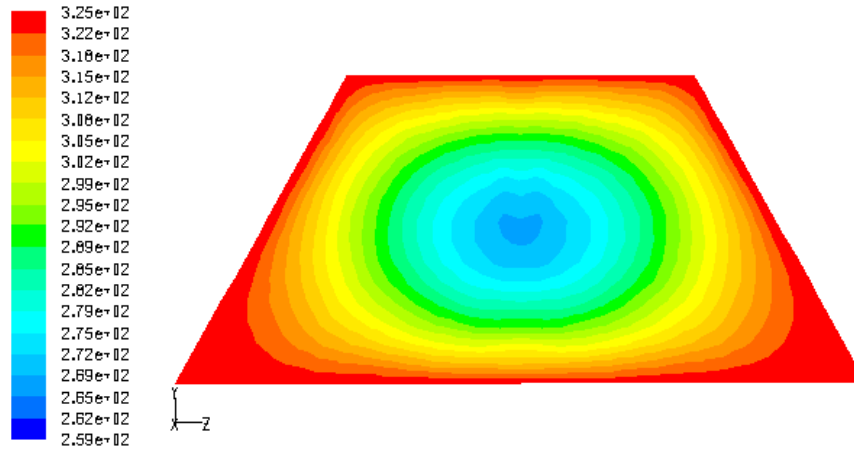
(c) Re=300



(d) Re=400



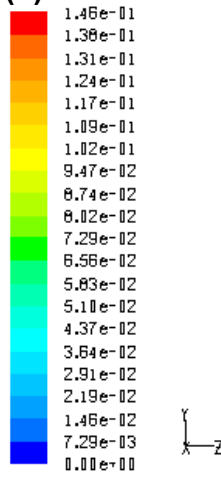
(e) Re=500



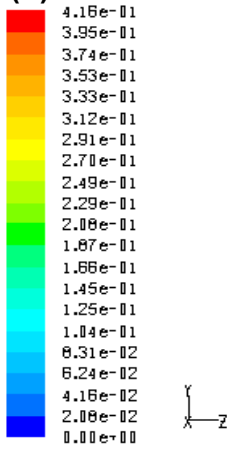
Şekil 4.32(Devam) Kanal içersine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında giriş kesitindeki sıcaklık konturları

Şekil 4.33’de kanal girişinden $x=0.1$ m mesafede yani blokların ortasından geçen düzlemdeki hız konturları Reynolds sayısının 100, 300 ve 500 değerleri için sırasıyla verilmiştir. Bu kesitte hız sınır tabakası kanal duvarlarında Reynolds sayısının artmasıyla azalırken bloklar ile kanal taban duvarının birleşim bölgesinde belirgin şekilde incelmıştır. Hız konturları blokların yerleşimine göre şekillenirken, blokların etkisinin kanal içerisindeki hız arttıkça daha belirgin olduğu görülmektedir.

(a) $Re=100$

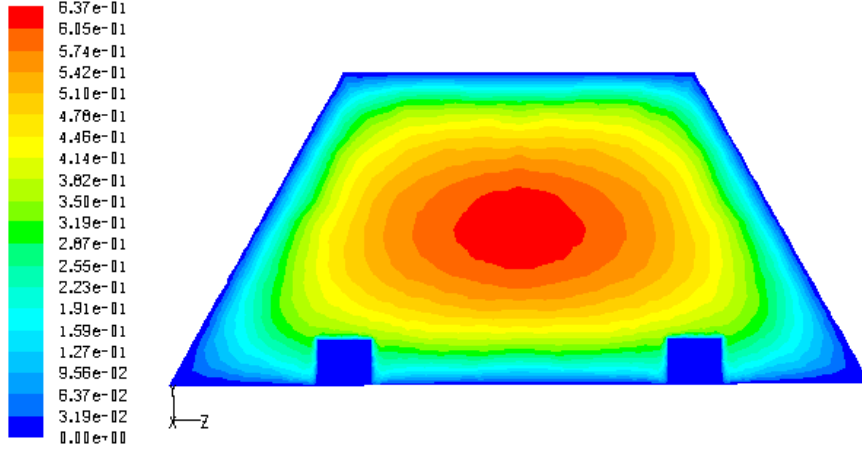


(b) $Re=300$



Şekil 4.33. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 5$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m düzlemindeki hız konturları

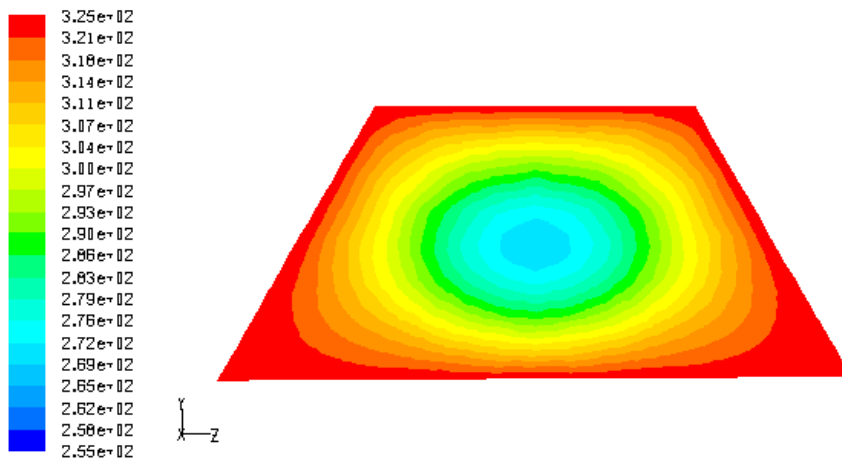
(c) Re=500



Şekil 4.33 (Devam) Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m düzlemindeki hız konturları

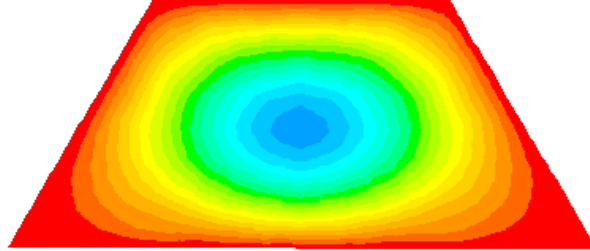
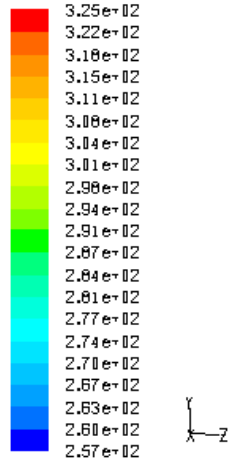
Şekil 4.34'de kanal girişinden $x=0.1$ m mesafede bulunan blokların ortasından geçen düzlemdeki sıcaklık konturları farklı Reynolds sayıları için sunulmuştur. Görüldüğü üzere artan Reynolds sayısı ile ısıl sınır tabaka kalınlığı azalmaktadır. Blokların kanal içindeki sıcaklık dağılımını belirgin şekilde etkilediği görülmektedir. Blokların bulunduğu bölümlerde akışkan sıcaklığının düştüğü şekillerden anlaşılmaktadır.

(a) Re=100

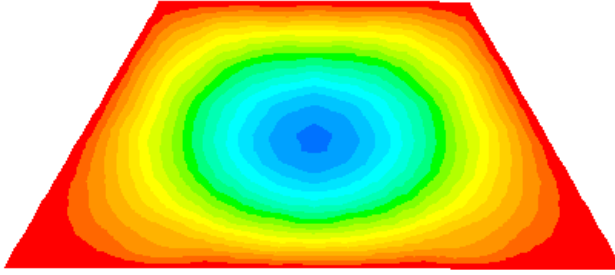
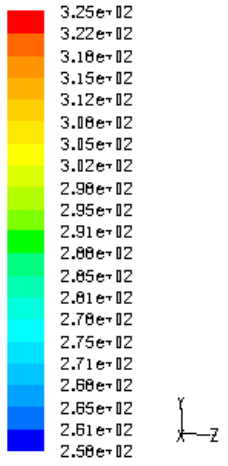


Şekil 4.34. Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları

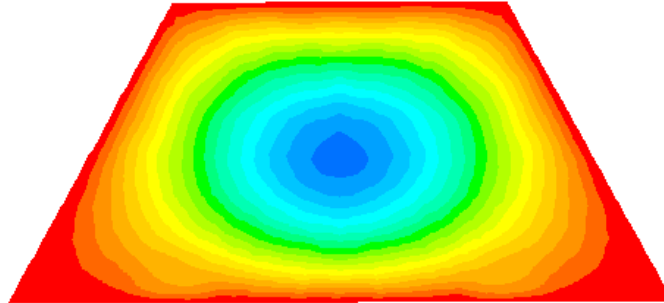
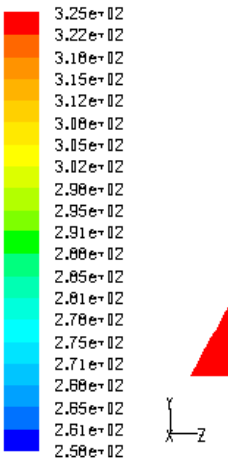
(b) Re=200



(c) Re=300

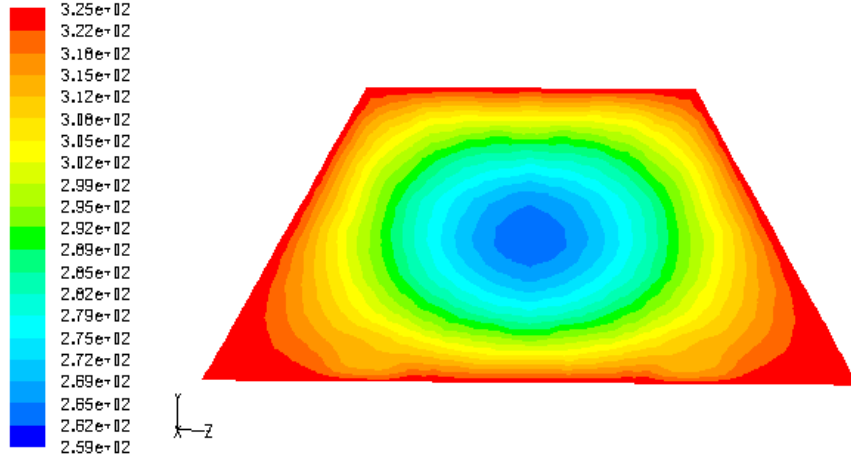


(d) Re=400



Şekil 4.34(Davam) Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları

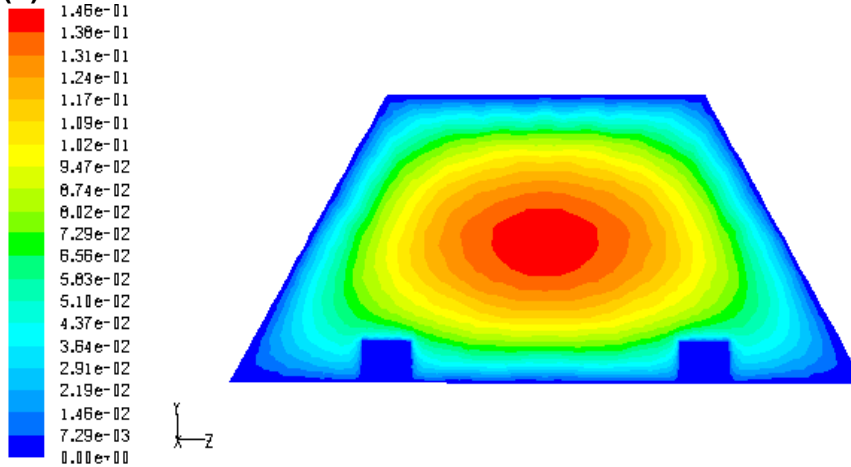
(e) Re=500



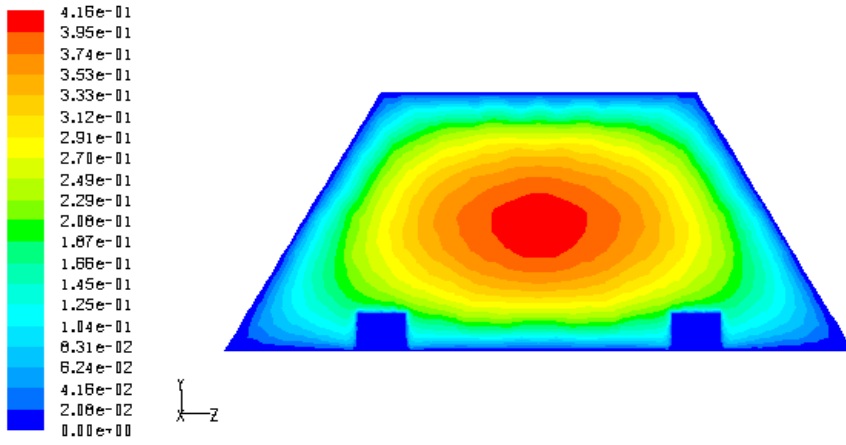
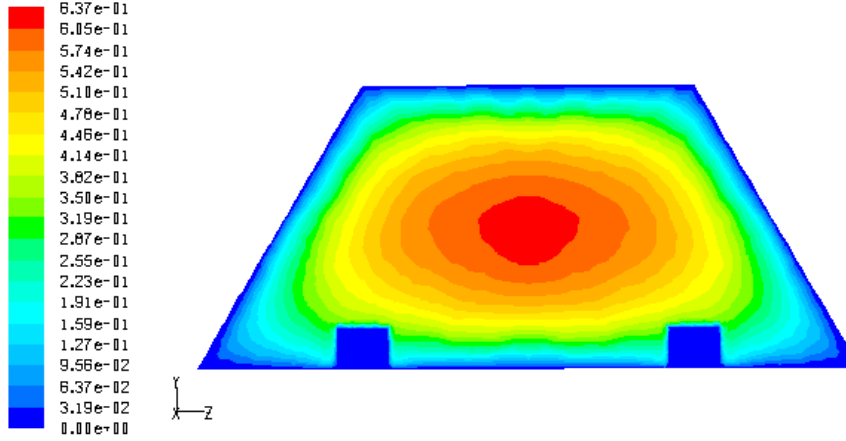
Şekil 4.34(Devam) Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları

Şekil 4.35'de kanal girişinden $x=0.4$ m mesafeden yani blokların ortasından geçen düzlemdeki hız konturları Reynolds sayısının 100, 300 ve 500 değerleri için görülmektedir. Yamuk kanalın köşelerinde, blokların kanal taban duvarıyla birleşim bölgesinde ve kanal duvarlarında hız sınır tabakası kanal içindeki akışkanın hızının artmasıyla daha da incelmektedir. Bloklar kanal içerisindeki akışkanın hız konturlarının şekillenmesinde etkili olmaktadır.

(a) Re=100

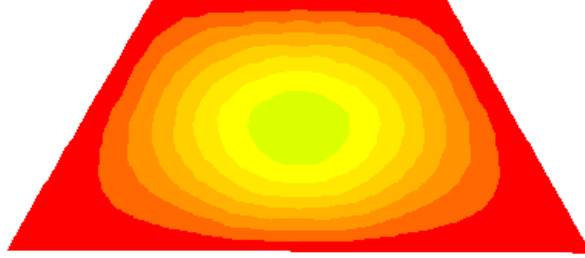
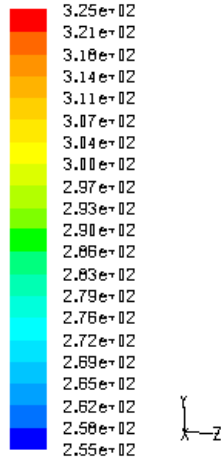
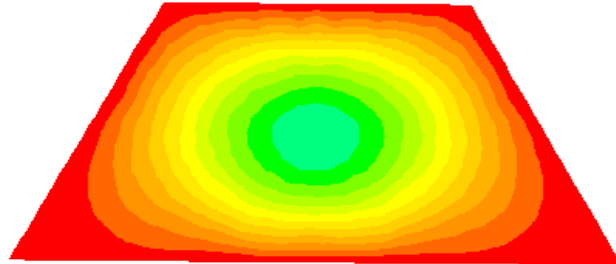
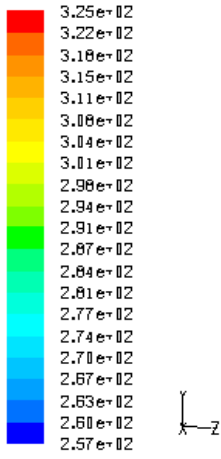
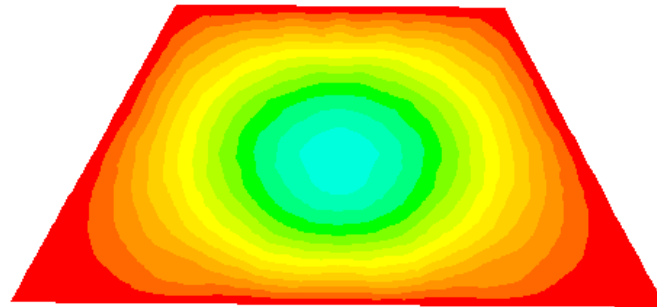
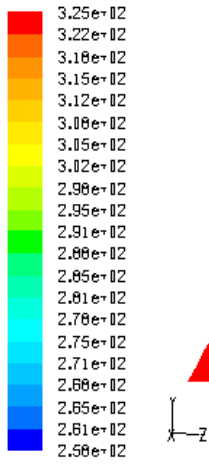


Şekil 4.35. Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında $x=0.4$ m uzaklıktaki kesitteki hız konturları

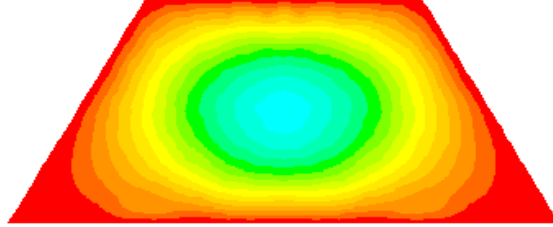
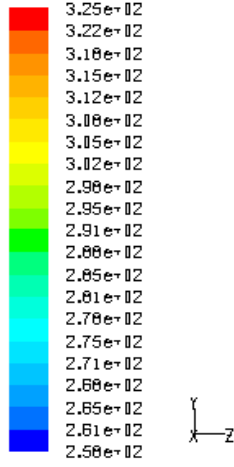
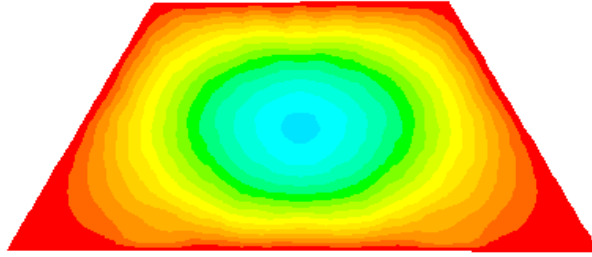
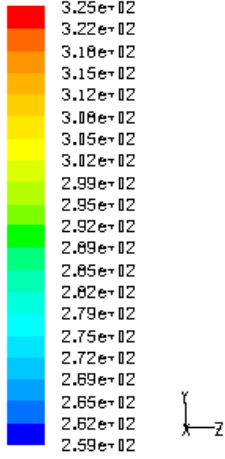
(b) $Re=300$ (c) $Re=500$ 

Şekil 4.35(Devam) Kanal içersine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında $x=0.4$ m uzaklıktaki kesitteki hız konturları

Şekil 4.36'da kanal girişinden $x=0.4$ m mesafede bulunan blokların ortasından geçen düzlemdeki sıcaklık konturları farklı Reynolds sayıları için sunulmuştur. Kanal içersindeki blokların sıcaklık dağılımına olan etkisinin Reynolds sayısındaki artışla daha belirgin olduğu anlaşılmaktadır. Kanal girişinden $x=0.4$ m uzaklıktaki kesitte akışkan sıcaklığı kanal merkezinde Reynolds sayısındaki artışla daha yüksek değere ulaşmaktadır.

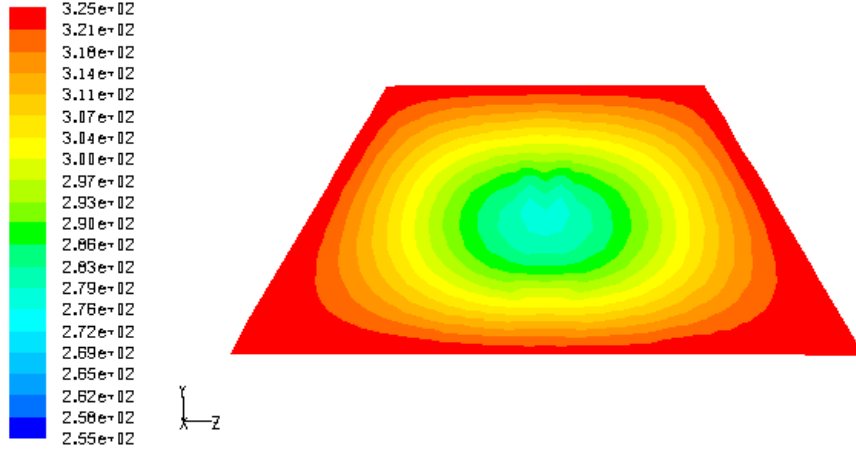
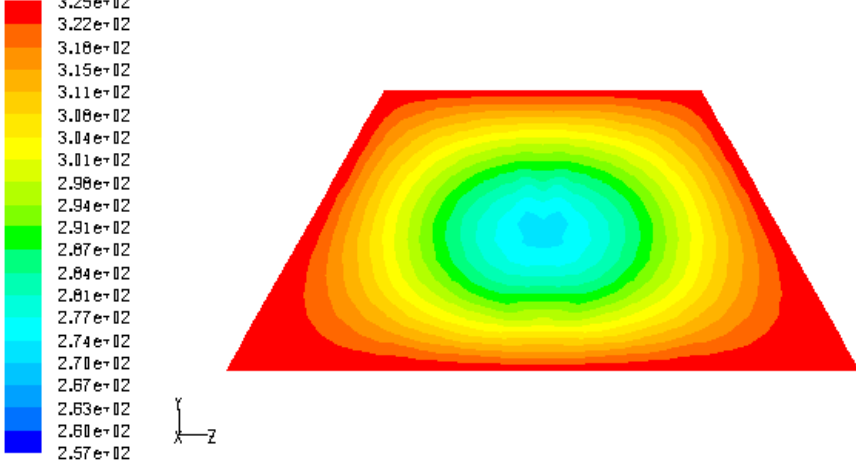
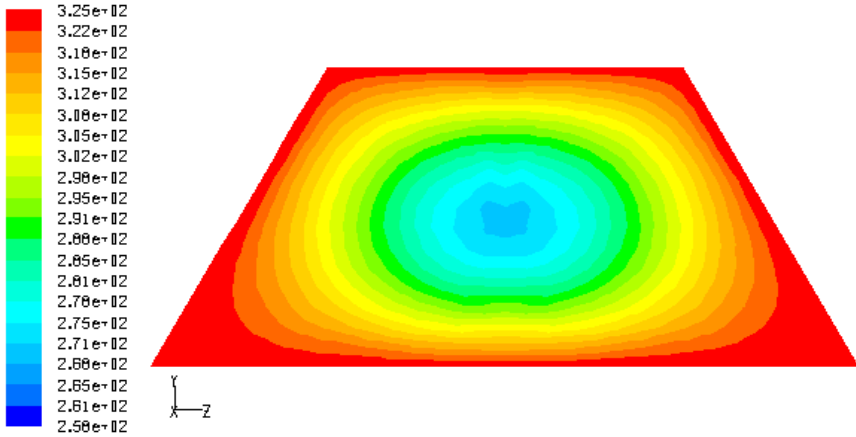
(a) $Re=100$ (b) $Re=200$ (c) $Re=300$ 

Şekil 4.36. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 5$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları

(d) $Re=400$ (e) $Re=500$ 

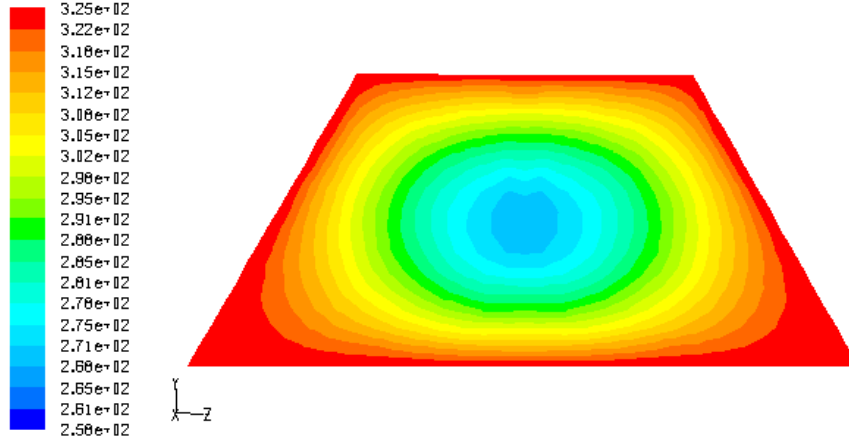
Şekil 4.36(Devam) Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları

Şekil 4.37'de kanal girişinden $x=0.5$ m mesafedeki, yamuk kanalın çıkışından geçen düzlemdeki sıcaklık konturları Reynolds sayısının 100, 200, 300, 400 ve 500 değerleri için gösterilmiştir. Görüldüğü gibi artan Reynolds sayısı ile ısı sınır tabaka kalınlığı azalmaktadır.

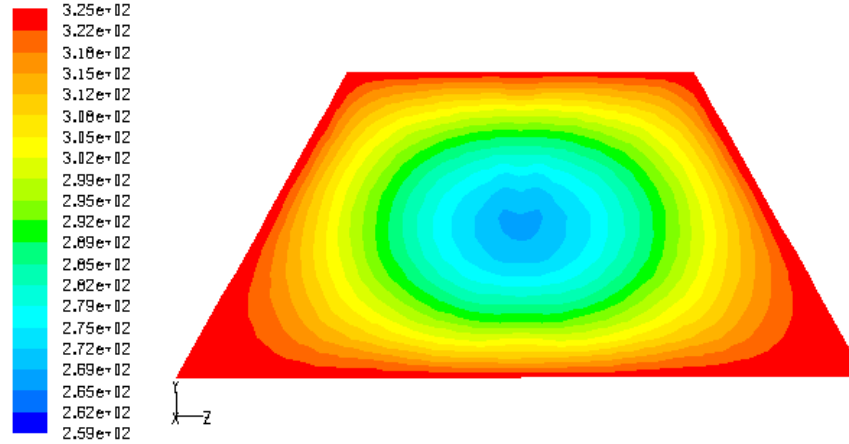
(a) $Re=100$ (b) $Re=200$ (c) $Re=300$ 

Şekil 4.37. Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında kanal çıkış kesitindeki sıcaklık konturları

(d) Re=400

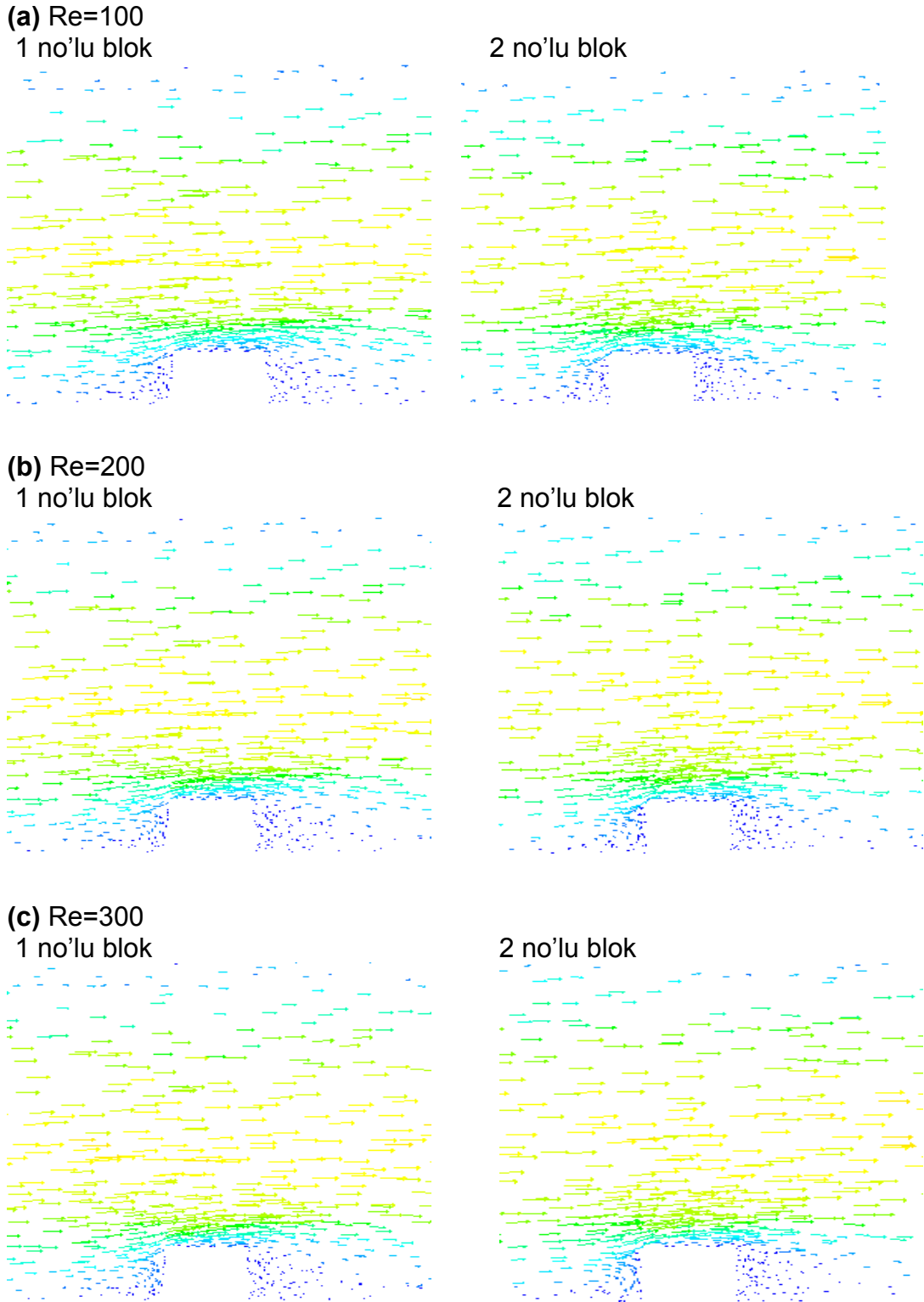


(e) Re=500

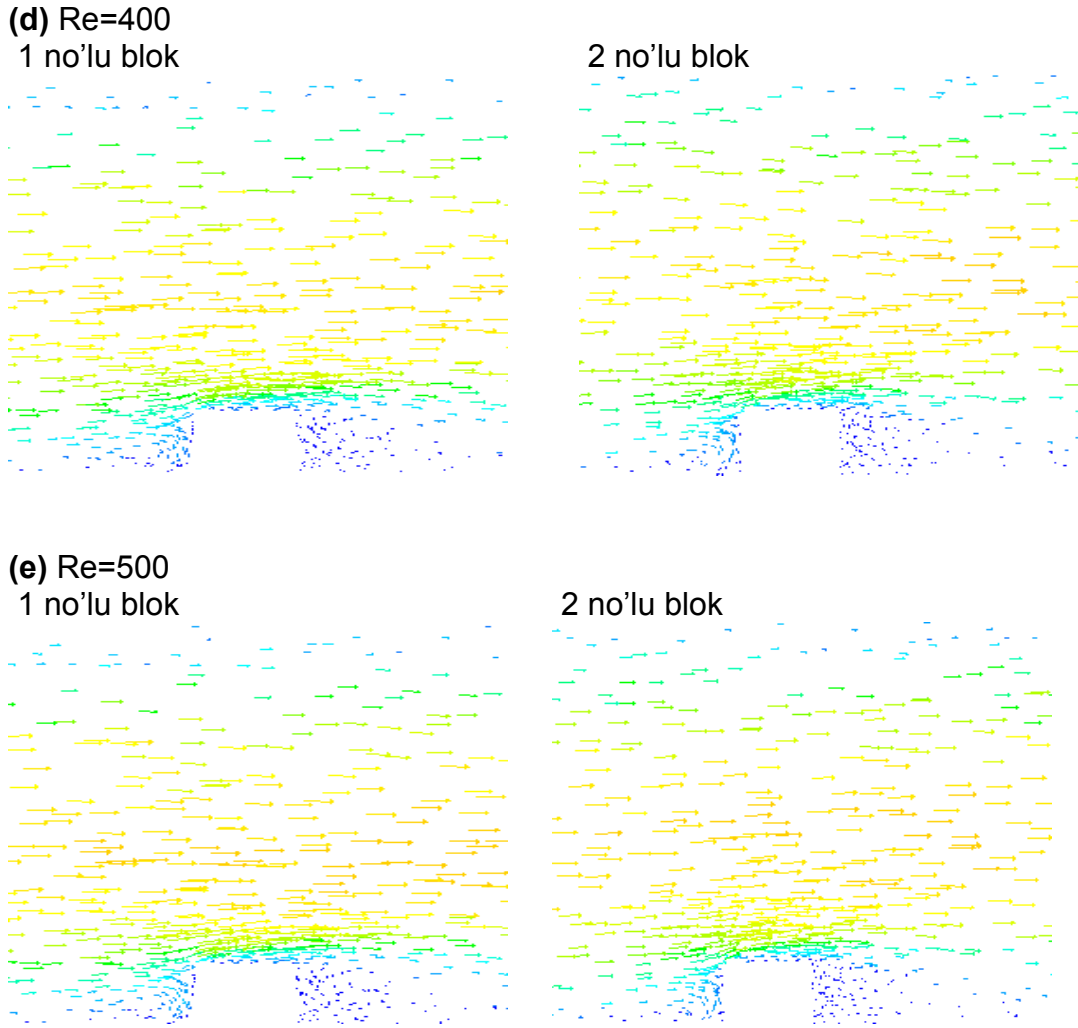


Şekil 4.37(Devam) Kanal içersine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında kanal çıkış kesitindeki sıcaklık konturları

Blokların tam üzerinden geçen ($z=0.02$ m) x-y düzleminde farklı Reynolds sayıları için hız vektörleri Şekil 4.38'de verilmiştir. Kanal girişine yakın olan blok 1 numaralı blok, kanal çıkışına yakın olan blok ise 2 numaralı blok olarak adlandırılmıştır. Blokların arkasında oluşan akışkan hızının düşük olduğu bölge Reynolds sayısı arttıkça daha geniş olmaktadır. Blokların tam üzerinde akışkan hızında belirgin bir düşme olduğu görülmektedir. Akışkan hızı dolayısıyla Reynolds sayısı arttıkça kanal girişine yakın olan blok önünde de akışkan hızında daha belirgin düşme oluşmaktadır.

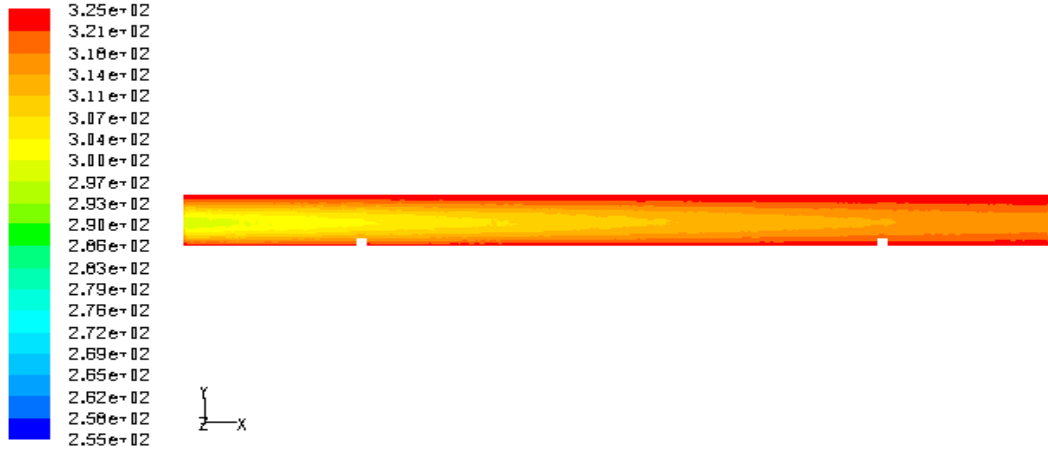
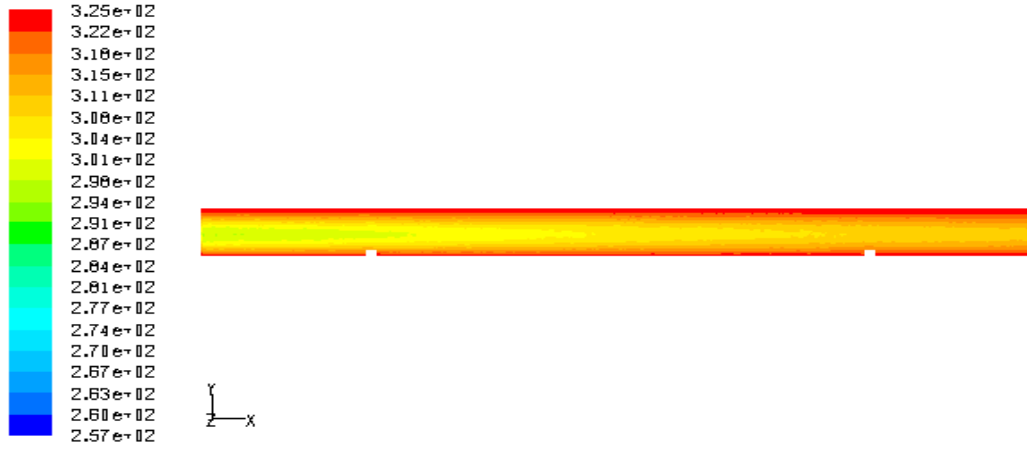
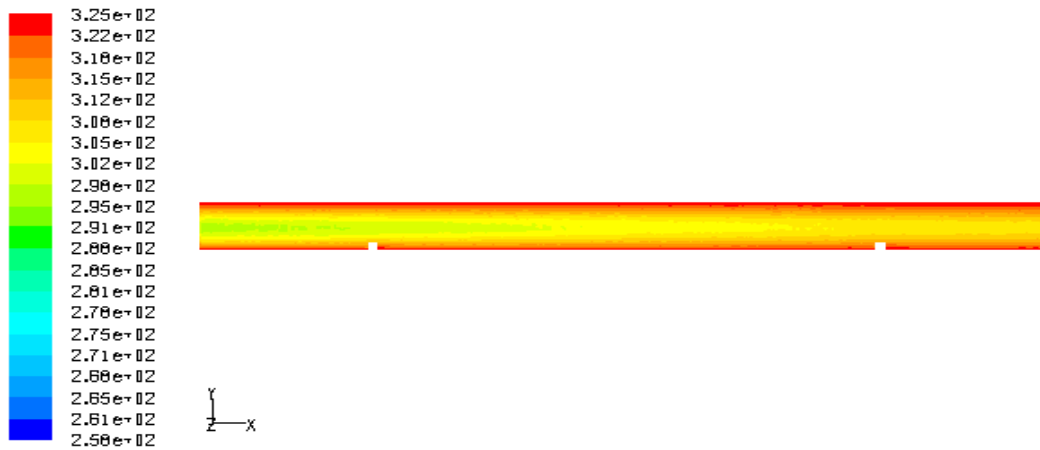


Şekil 4.38. Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki hız vektörlerinin farklı Reynolds sayıları için görünümü



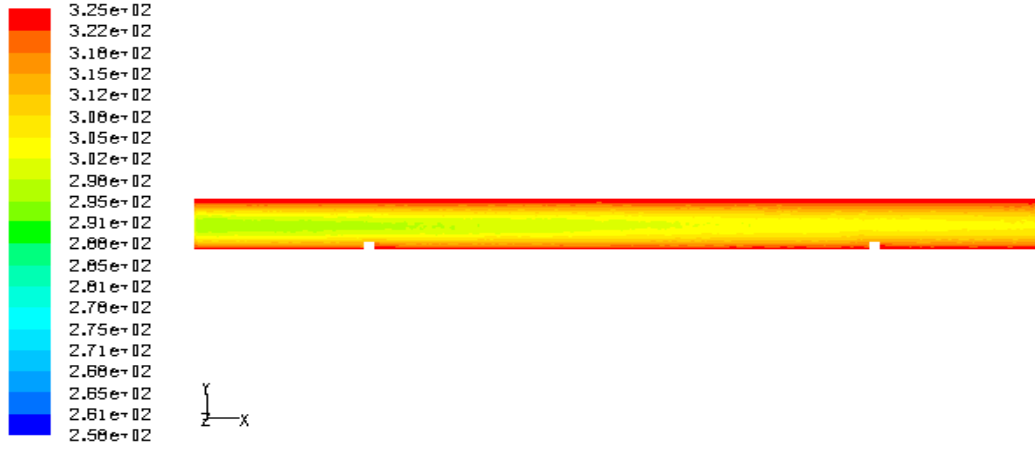
Şekil 4.38(Devam) Kanal içerisine $6 \times 6 \times 5$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki hız vektörlerinin farklı Reynolds sayıları için görünümü

Blokların tam üzerinden geçen ($z=0.02$ m) x-y düzleminde farklı Reynolds sayıları için sıcaklık konturları Şekil 4.39'da verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi akışkan düşük Reynolds sayısında kanal çıkışında daha yüksek sıcaklığa ulaşmaktadır.

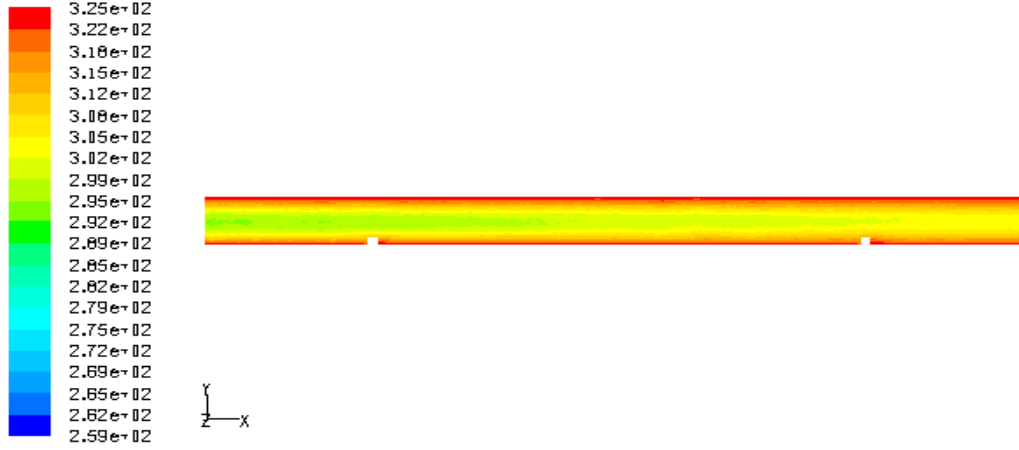
(a) $Re=100$ (b) $Re=200$ (c) $Re=300$ 

Şekil 4.39. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 5$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki sıcaklık konturlarının farklı Reynolds sayıları için görünümü

(d) Re=400



(e) Re=500

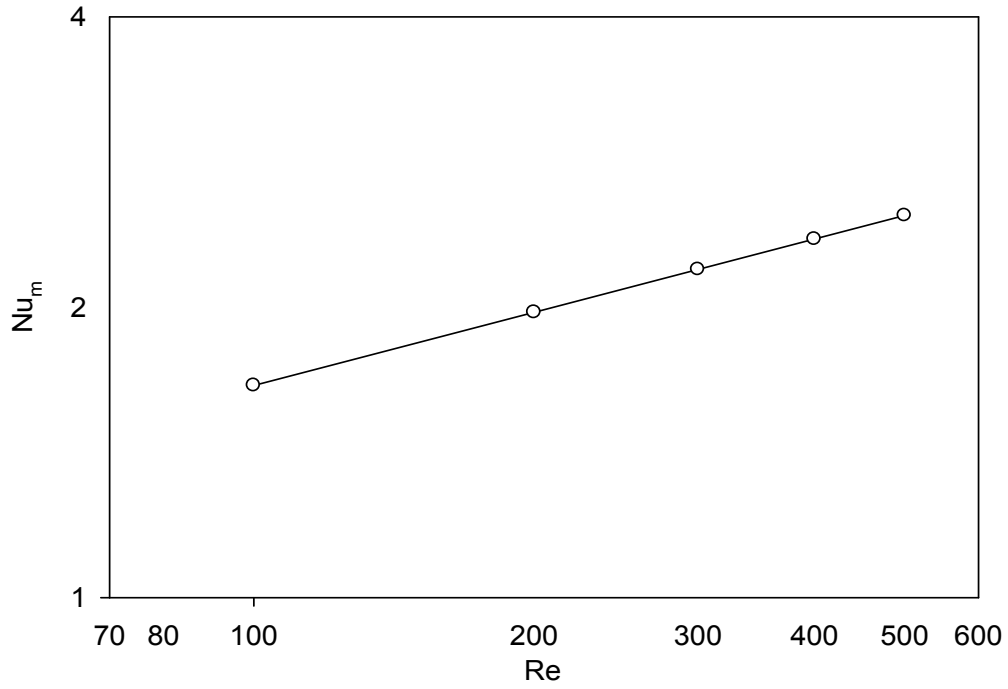


Şekil 4.39(Devam) Kanal içerisine 6x6x5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda z=0.02 m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki sıcaklık konturlarının farklı Reynolds sayıları için görünümü

4.4. İçerisinde 6x6x6 mm'lik Bloklar Bulunan Kanal İçin Yapılan Sayısal Çalışma Sonuçları

Yamuk kesitli kanal içerisine 6x6x6 mm ölçülerindeki 4 adet bloğun yerleştirildiği durum için sayısal çalışmalar yapılmıştır. Blokların kanal içerisindeki yerleşimi Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Sayısal çalışmalar Reynolds sayısının 100, 200, 300, 400 ve 500 değerleri için gerçekleştirilmiştir.

Ortalama Nusselt sayısı değerleri değişik Reynolds sayıları için Şekil 4.40'da verilmiştir. Beklenildiği gibi Reynolds sayısının artması ile ortalama Nusselt sayısı da artış göstermiştir.

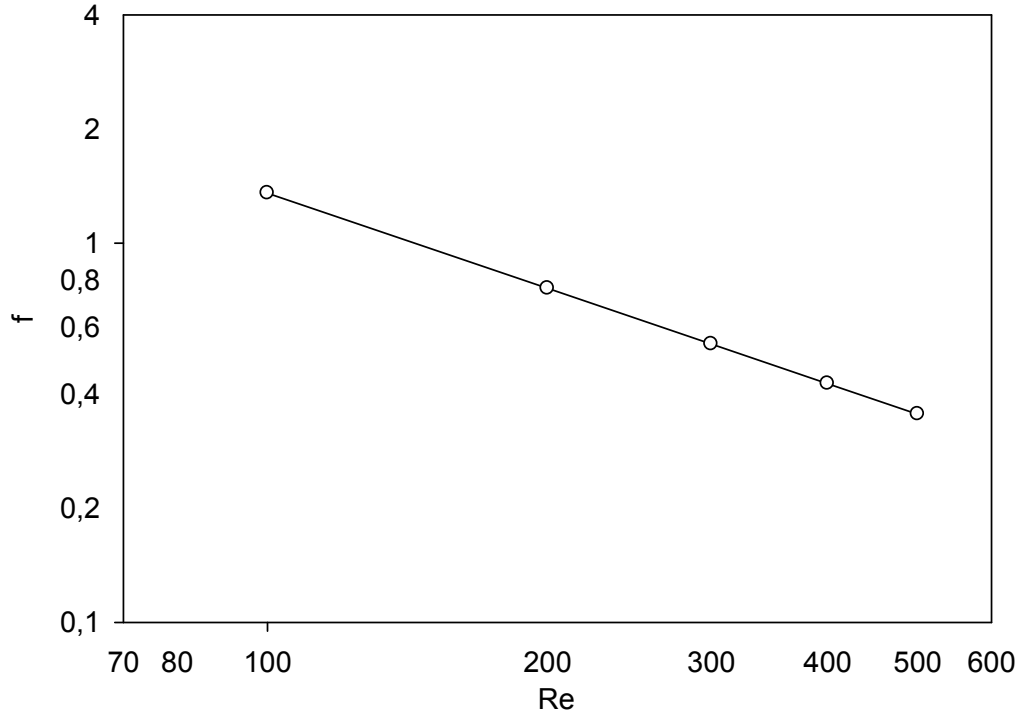


Şekil 4.40. Kanal içerisinde 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

En küçük kareler yöntemi kullanılarak yamuk kesitli kanal içerisinde 6x6x6 mm ölçülerinde blokların yerleştirildiği durum için ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki ampirik olarak şöyle ifade edilmiştir:

$$Nu_m = 0.520 Re^{0.252} \quad (4.7)$$

Kanal içerisinde Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi ise Şekil 4.41'de verilmiştir.

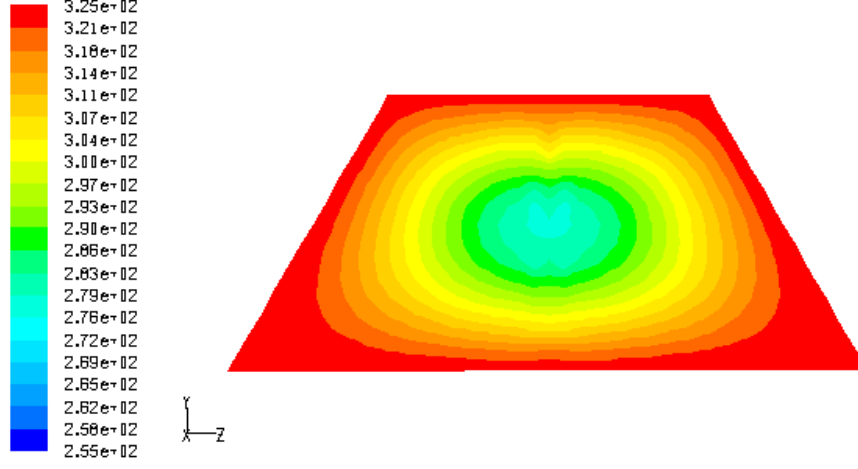
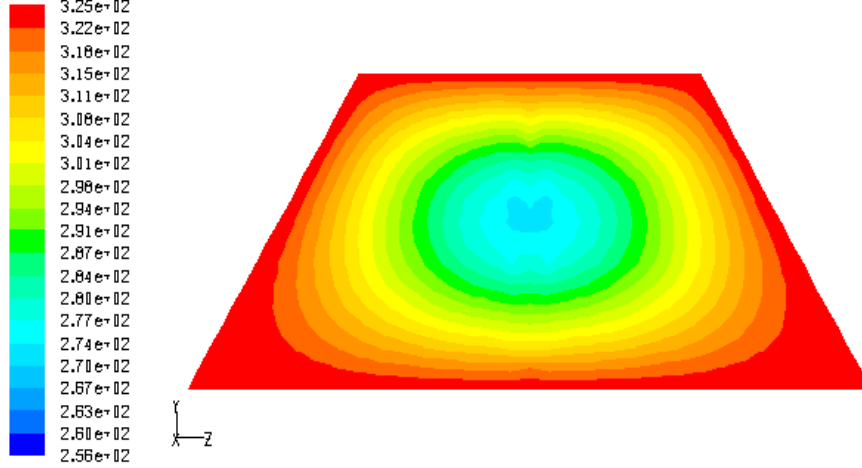
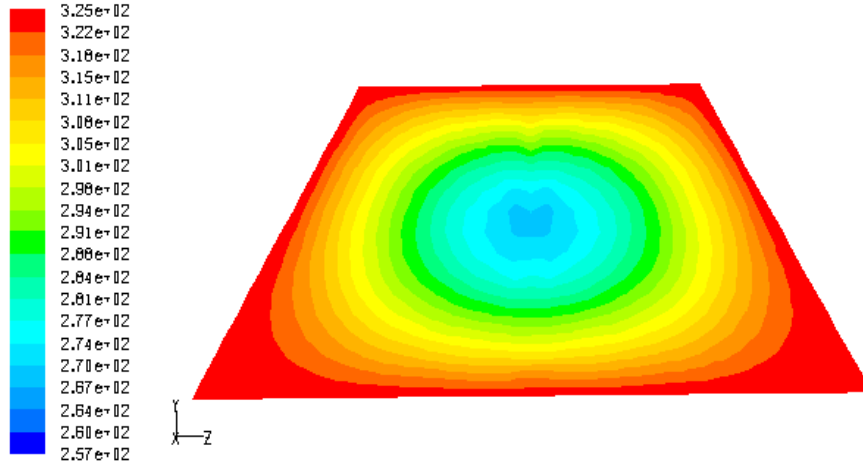


Şekil 4.41. Kanal içersine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi

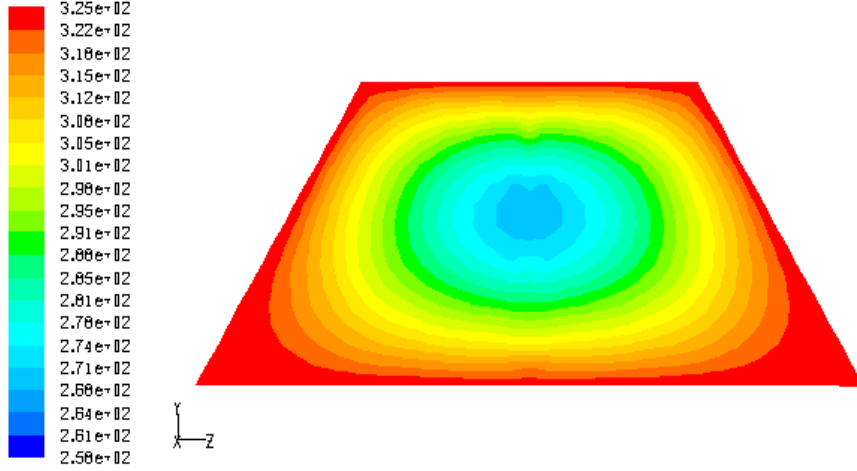
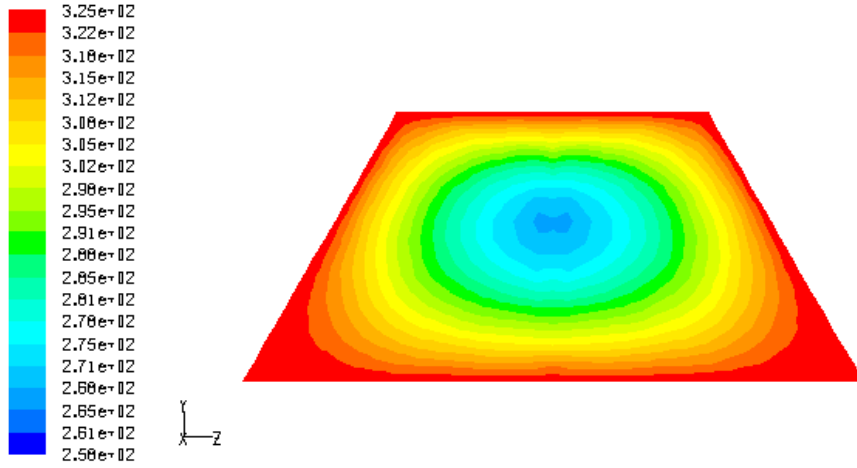
Şekilde görüldüğü gibi Darcy sürtünme faktörü artan Reynolds sayısı ile azalma göstermiştir. Darcy sürtünme faktörü ile Reynolds sayısı arasındaki bağıntı ampirik olarak şu şekilde ifade edilmiştir:

$$f = 63.07 / Re^{0.834} \quad (4.8)$$

Şekil 4.42' de kanal girişinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları Reynolds sayısının 100, 200, 300, 400 ve 500 değerleri için verilmiştir. Isıl sınır tabaka Reynolds sayısındaki artışla azalmaktadır.

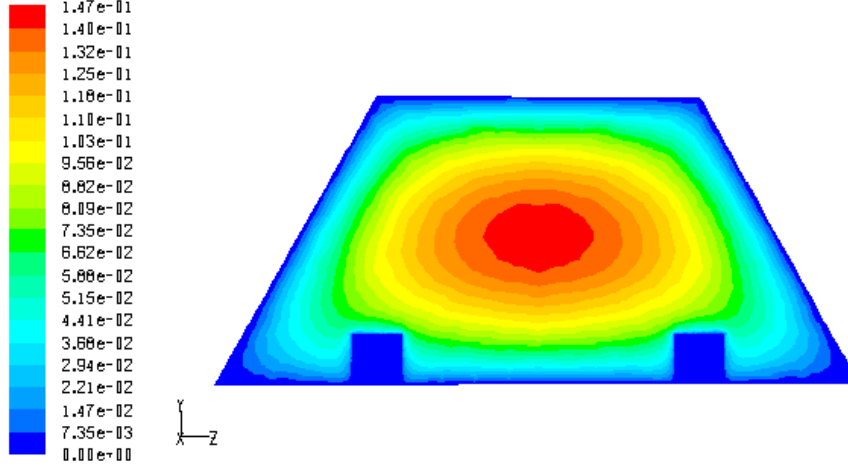
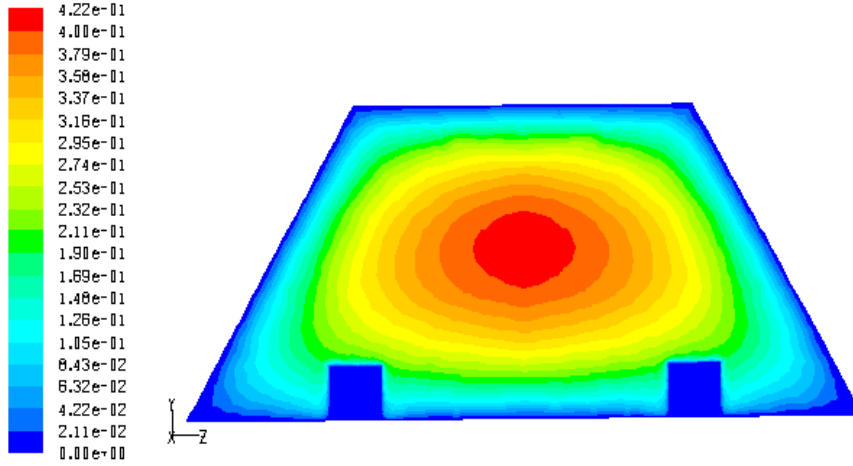
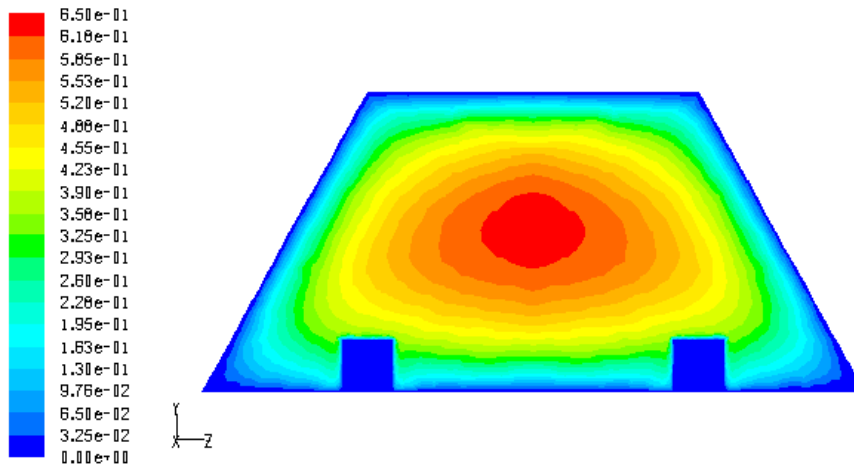
(a) $Re=100$ (b) $Re=200$ (c) $Re=300$ 

Şekil 4.42. Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için kanal girişindeki sıcaklık konturları

(d) $Re=400$ (e) $Re=500$ 

Şekil 4.42(Devam) Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için kanal girişindeki sıcaklık konturları

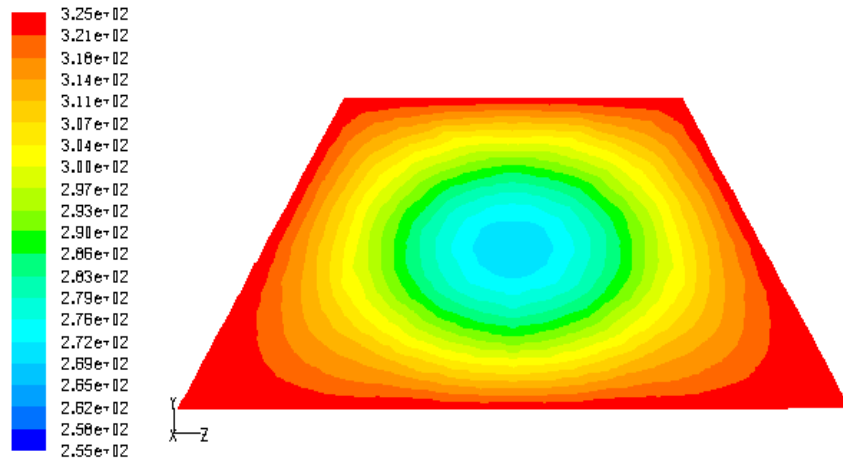
Şekil 4.43'de kanal girişinden $x=0.1$ m mesafeden, blokların ortasından geçen düzlemdeki hız konturları Reynolds sayısının 100, 300, ve 500 değerleri için gösterilmiştir. Hız konturları blokların konumuna göre şekillenmiştir. Artan Reynolds sayısı ile kanal köşeleri ve blokların kanal tabanı ile olan köşelerindeki hız sınır tabakasının azaldığı gözlenmektedir.

(a) $Re=100$ (b) $Re=300$ (c) $Re=500$ 

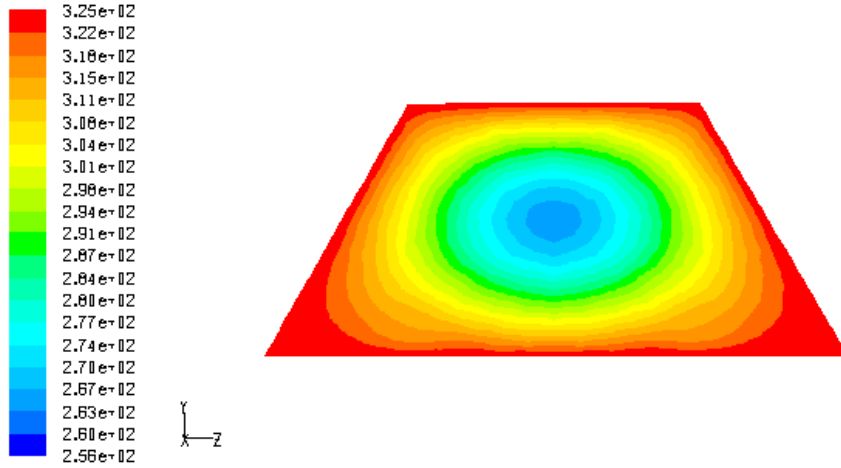
Şekil 4.43. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 6$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m'lik mesafede z - y düzlemindeki hız konturları

Şekil 4.44'de kanal girişinden $x=0.1$ m mesafede bulunan blokların ortasından geçen düzlemdeki sıcaklık konturları farklı Reynolds sayıları için sunulmuştur. Bu kesitin merkezinde akışkan sıcaklığı Reynolds sayısı arttıkça yükselmektedir. Blokların sıcaklık dağılımına etkisi artan Reynolds sayısı ile daha belirgin duruma gelmiştir.

(a) $Re=100$

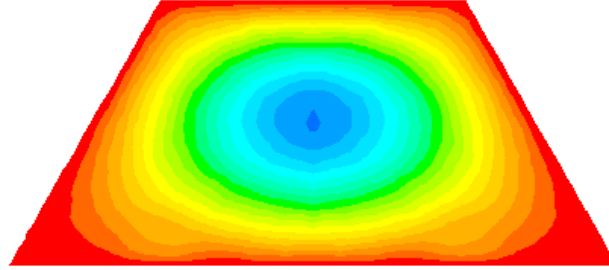
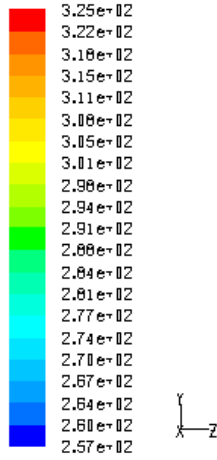


(b) $Re=200$

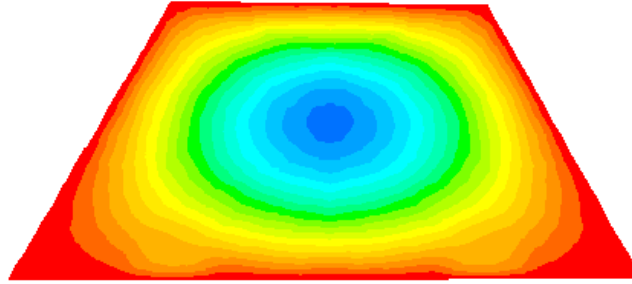
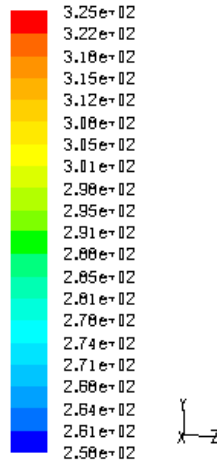


Şekil 4.44. Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları

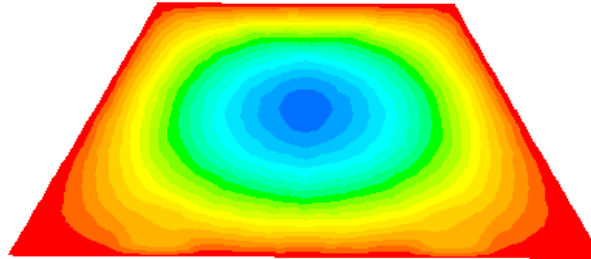
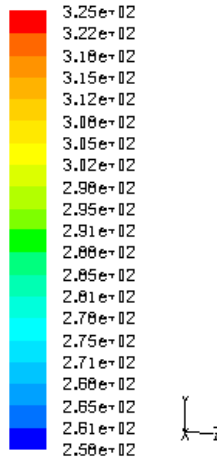
(c) Re=300



(d) Re=400



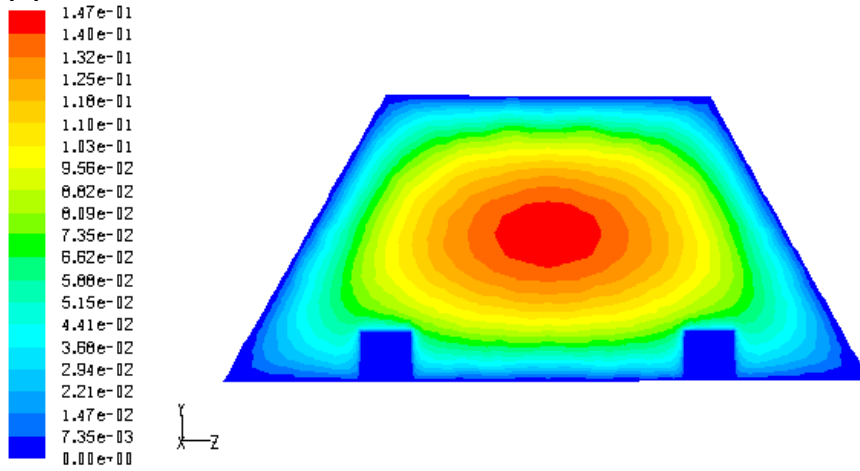
(e) Re=500



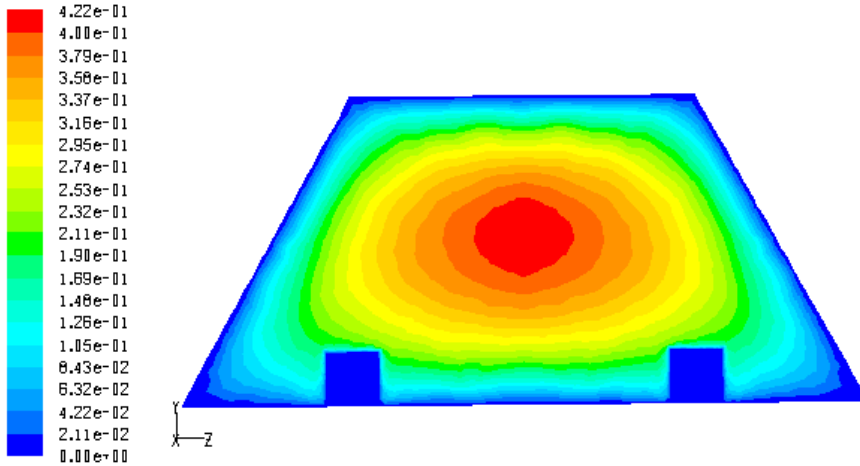
Şekil 4.44(Davam) Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları

Şekil 4.45'de kanal girişinden $x=0.4$ m mesafede, blokların ortasından geçen düzlemdeki hız konturları Reynolds sayısının 100, 300, ve 500 değerleri için verilmiştir. Reynolds sayısının artmasıyla, blokların akışkanın hız dağılımına etkisi artmıştır. Hız sınır tabakası yamuk kanalın köşelerinde, kanal duvarlarının yakınında ve bloklar ile kanal taban duvarının birleşim bölgesinde artan Reynolds sayısı ile küçülmüştür.

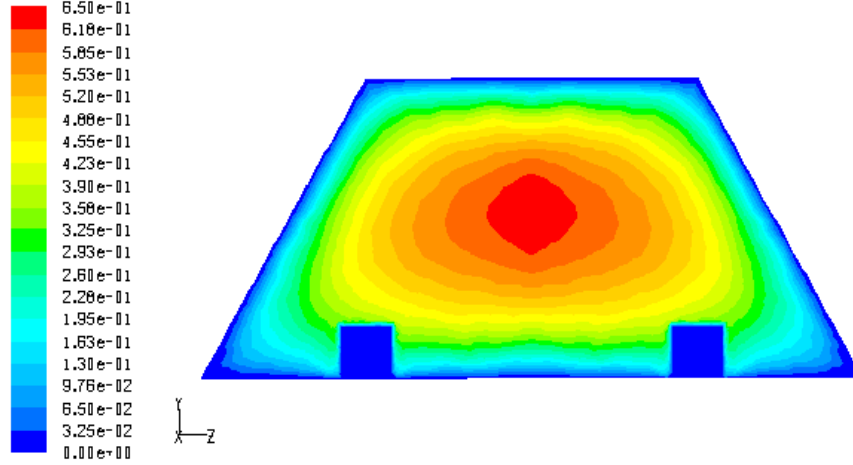
(a) $Re=100$



(b) $Re=300$

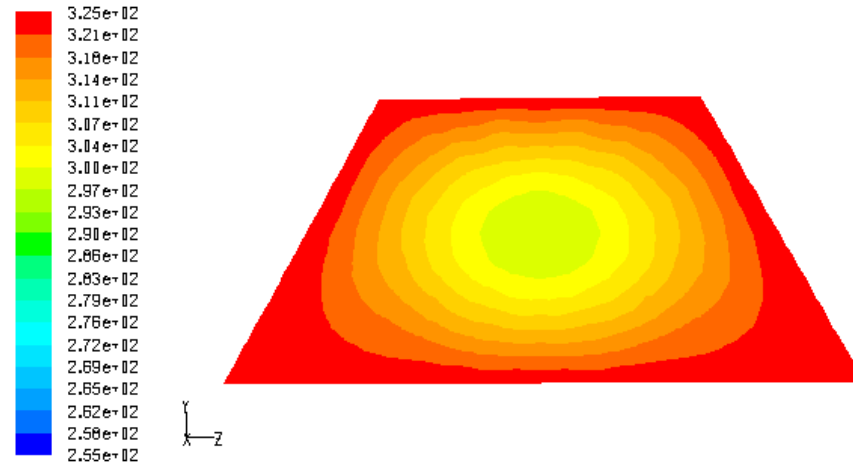


Şekil 4.45. Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $x=0.4$ m'lik mesafede oluşturulan z-y düzlemindeki hız konturları

(c) $Re=500$ 

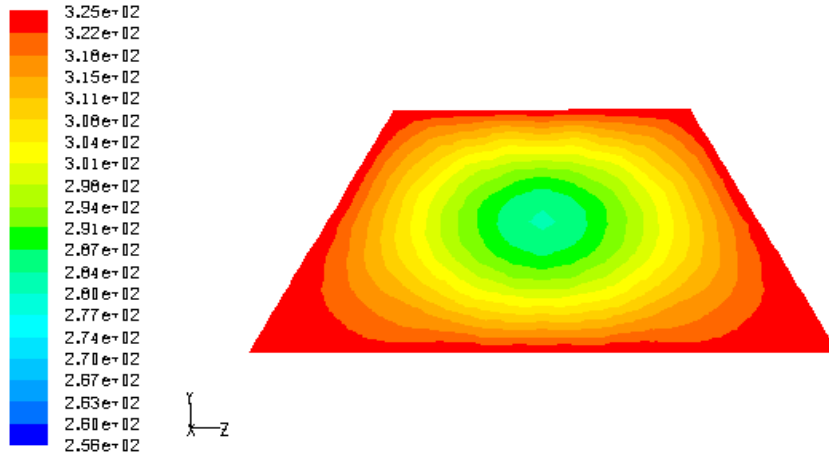
Şekil 4.45(Devam) Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $x=0.4m$ 'lik mesafede oluşturulan z-y düzlemindeki hız konturları

Şekil 4.46'da kanal girişinden $x=0.4$ m mesafede bulunan blokların ortasından geçen z-y düzlemindeki sıcaklık konturları farklı Reynolds sayıları için sunulmuştur. Akışkan sıcaklığı, kanal girişine $x=0.4$ m mesafedeki kesit merkezinde artan Reynolds sayısı ile yükselmiştir. Blokların sıcaklık dağılımına etkisi Reynolds sayısının yükselmesiyle artmıştır.

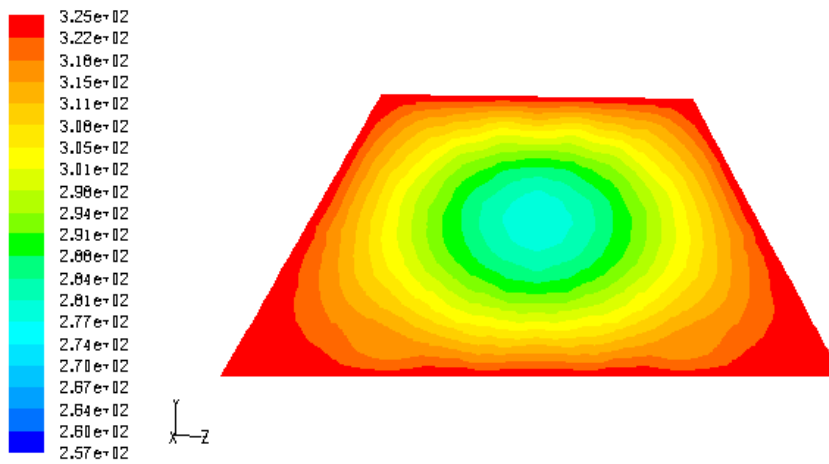
(a) $Re=100$ 

Şekil 4.46. Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları

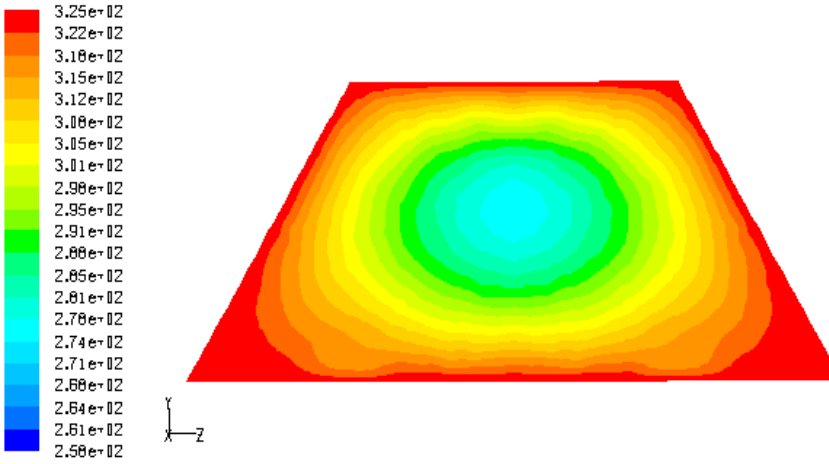
(b) Re=200



(c) Re=300

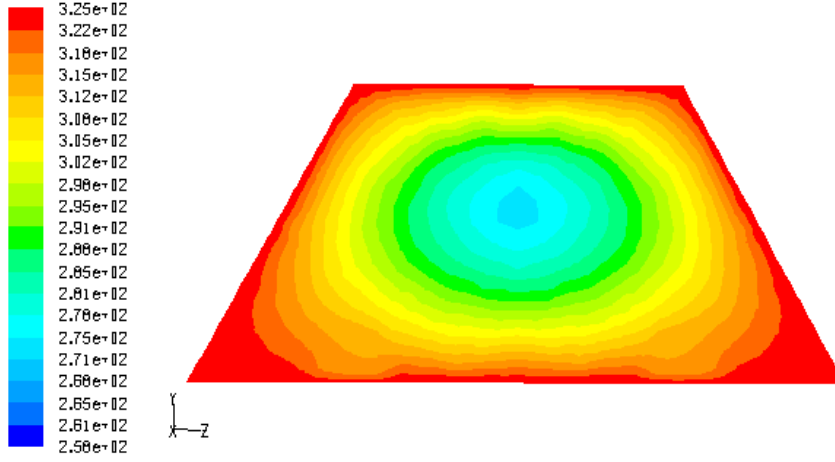


(d) Re=400



Şekil 4.46(Davam) Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinden geçen düzlemdaki sıcaklık konturları

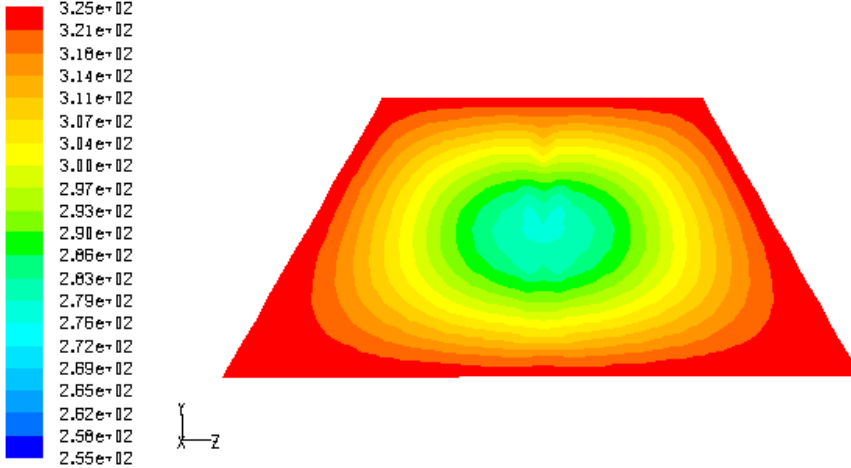
(e) Re=500



Şekil 4.46(Devam) Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları

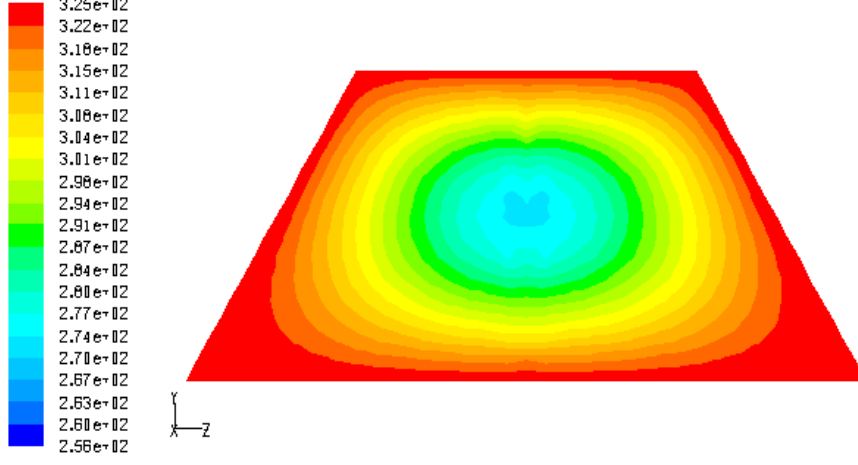
Şekil 4.47'de kanal çıkışından geçen düzlemdeki sıcaklık konturları Reynolds sayısının 100, 200, 300, 400 ve 500 değerleri için verilmiştir. 4 ve 5 mm yüksekliğindeki diğer blokların bulunduğu kanal için yapılan çözüm ile kıyaslandığında kesitin merkezinde daha düşük sıcaklık değeri gözlenmiştir.

(a) Re=100

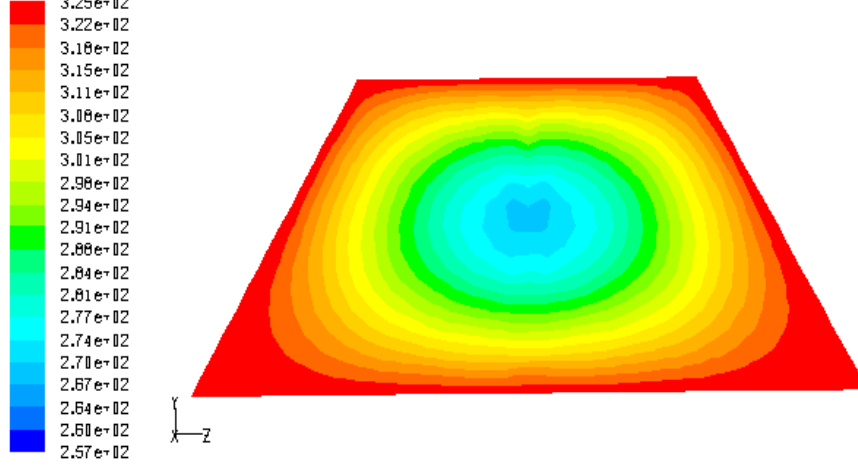


Şekil 4.47. Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında kanal çıkış kesitindeki sıcaklık konturları

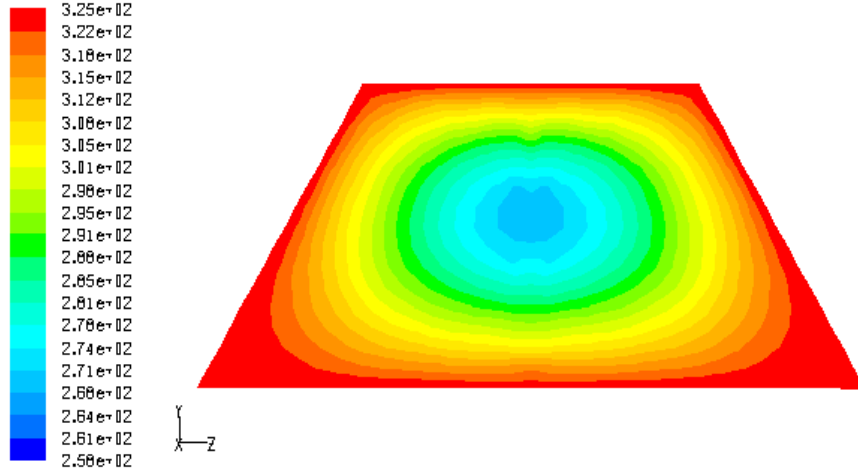
(b) Re=200



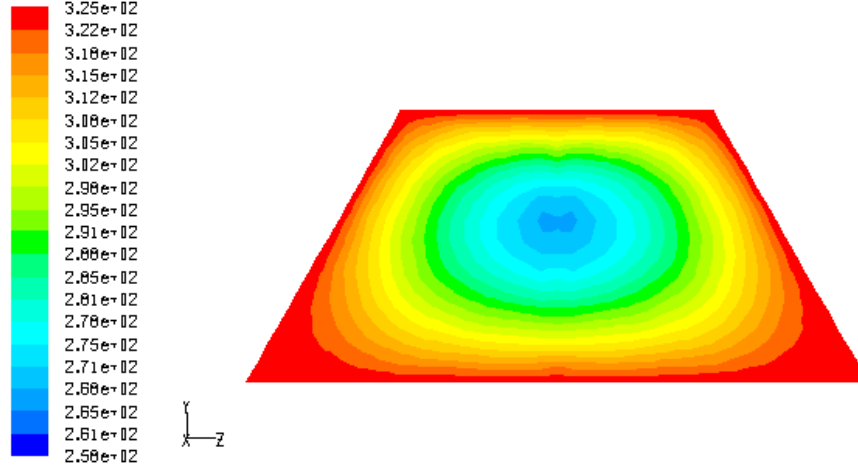
(c) Re=300



(d) Re=400



Şekil 4.47(Devam) Kanal içersine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında kanal çıkış kesitindeki sıcaklık konturları

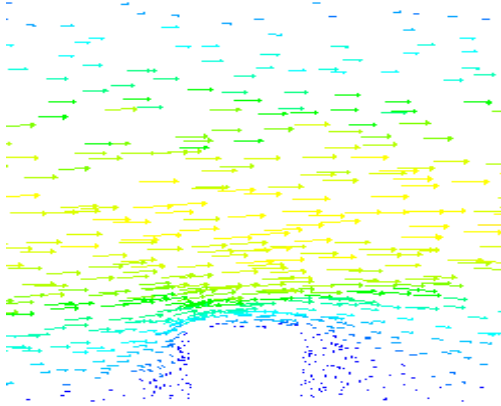
(e) $Re=500$ 

Şekil 4.47(Devam) Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında kanal çıkış kesitindeki sıcaklık konturları

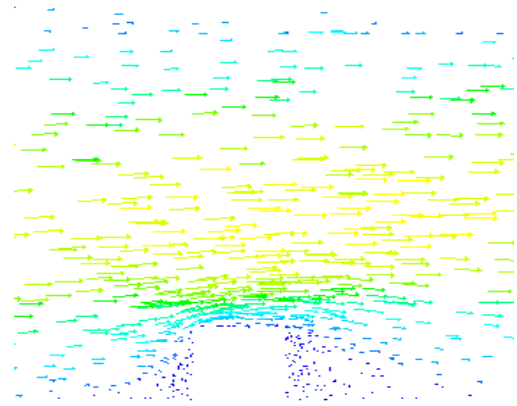
Blokların tam üzerinden geçen ($z=0.02$ m) x-y düzleminde farklı Reynolds sayıları için hız vektörleri Şekil 4.48'de verilmiştir. Kanal girişine yakın olan blok 1 numaralı blok, kanal çıkışına yakın olan blok ise 2 numaralı blok olarak adlandırılmıştır. Blokların arkasında oluşan düşük akışkan hızındaki bölge Reynolds sayının artmasıyla daha geniş alan kaplamaktadır. Hız sınır tabakası kalınlığı kanal üst duvarında daha geniş iken blokların bulunduğu kanal taban duvarında daha küçüktür.

(a) $Re=100$

1 no'lu blok

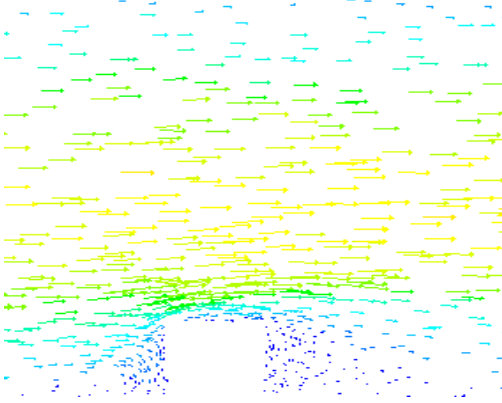


2 no'lu blok

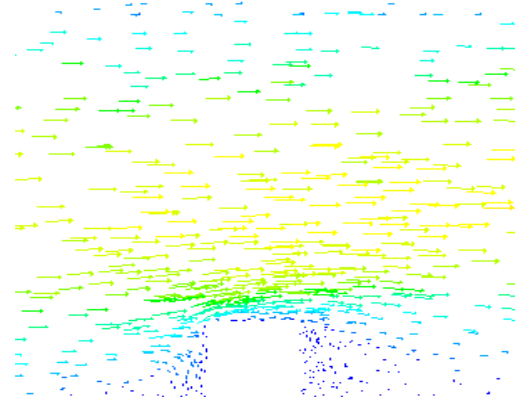


Şekil 4.48. Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki hız vektörlerinin farklı Reynolds sayıları için görünümü

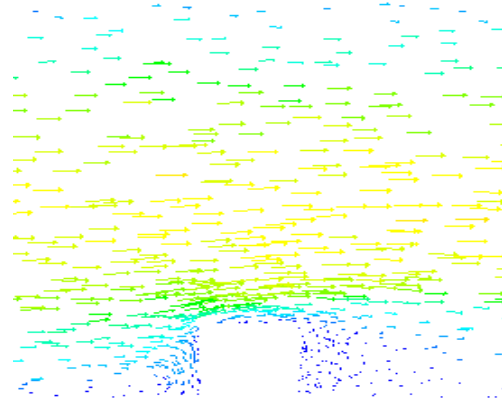
(b) Re=200
1 no'lu blok



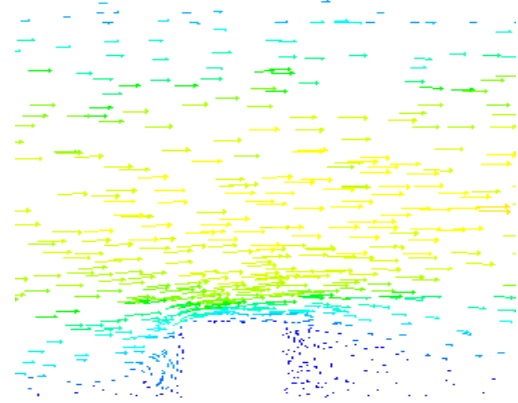
2 no'lu blok



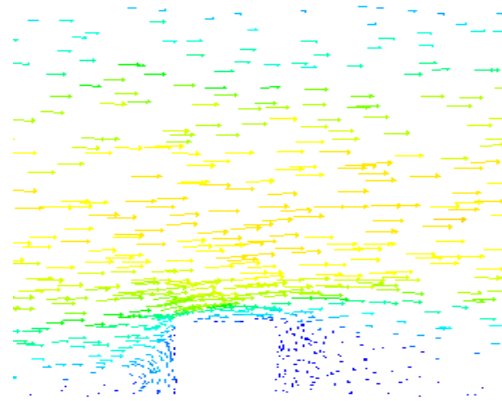
(c) Re=300
1 no'lu blok



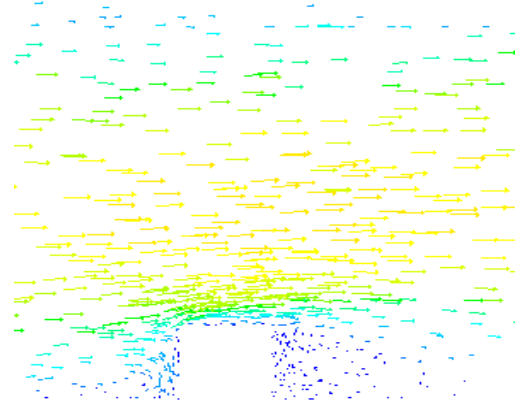
2 no'lu blok



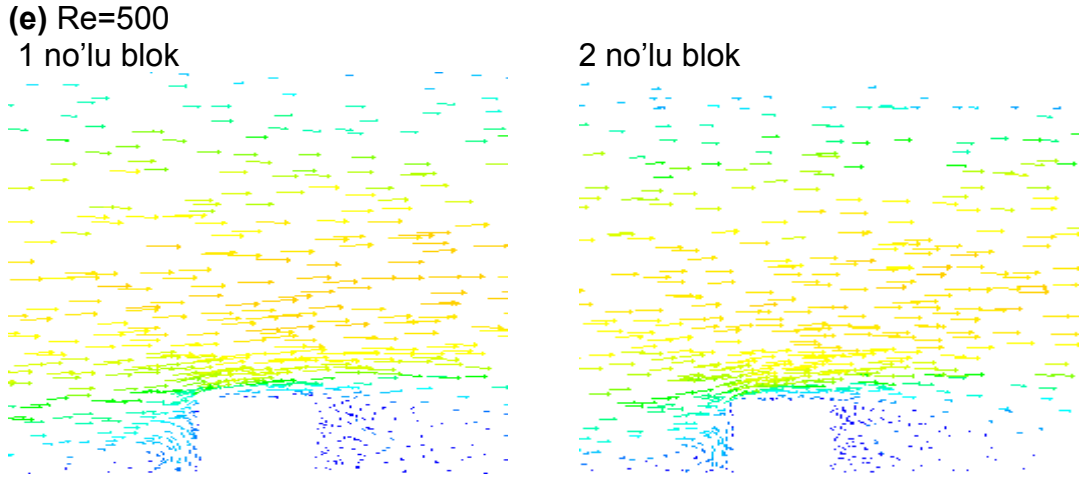
(d) Re=400
1 no'lu blok



2 no'lu blok

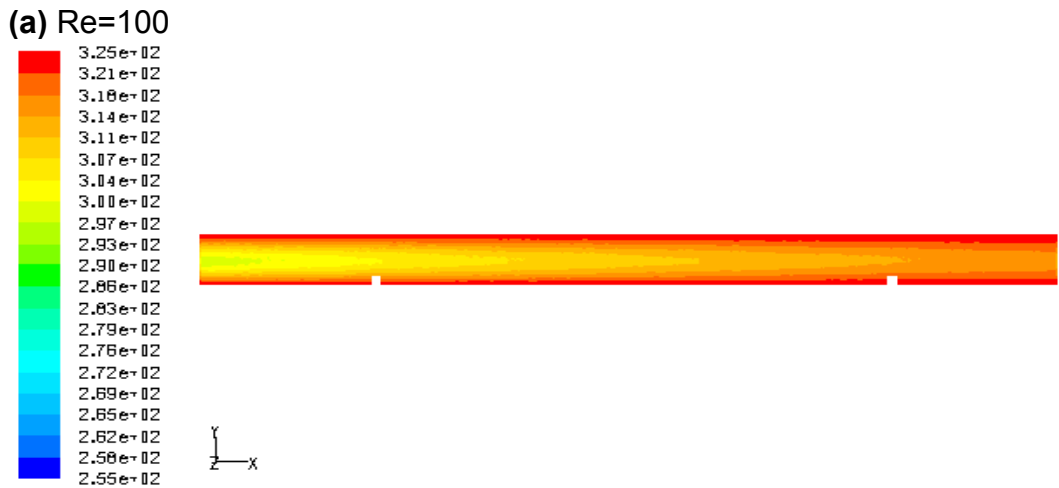


Şekil 4.48(Devam) Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki hız vektörlerinin farklı Reynolds sayıları için görünümü



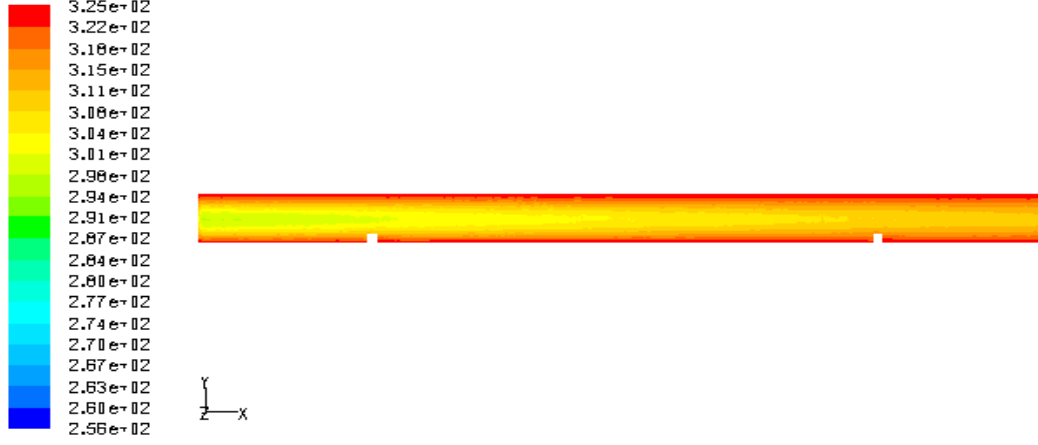
Şekil 4.48(Devam) Kanal içerisine $6 \times 6 \times 6$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki hız vektörlerinin farklı Reynolds sayıları için görünümü

Blokların tam üzerinden geçen ($z=0.02$ m) x-y düzleminde farklı Reynolds sayıları için sıcaklık konturları Şekil 4.49'da verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi akışkan düşük Reynolds sayısında kanal çıkışında daha yüksek sıcaklığa ulaşmaktadır.

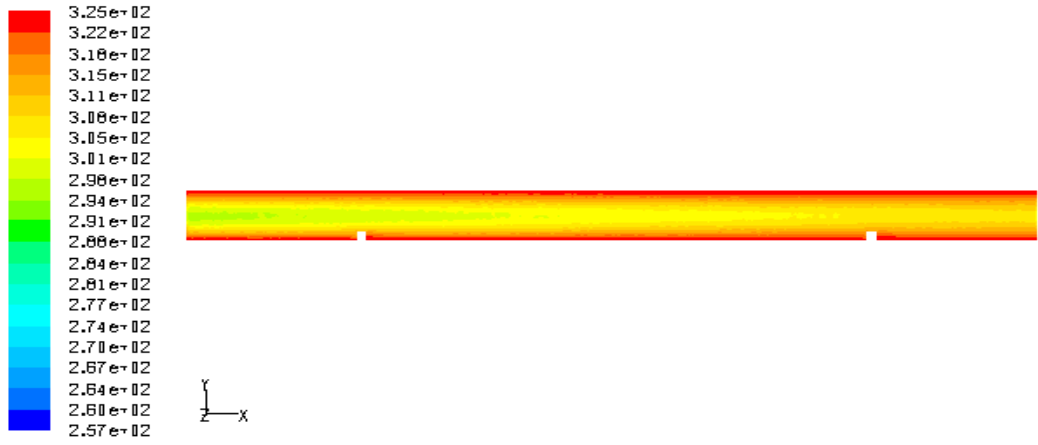


Şekil 4.49. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 6$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki sıcaklık konturlarının farklı Reynolds sayıları için görünümü

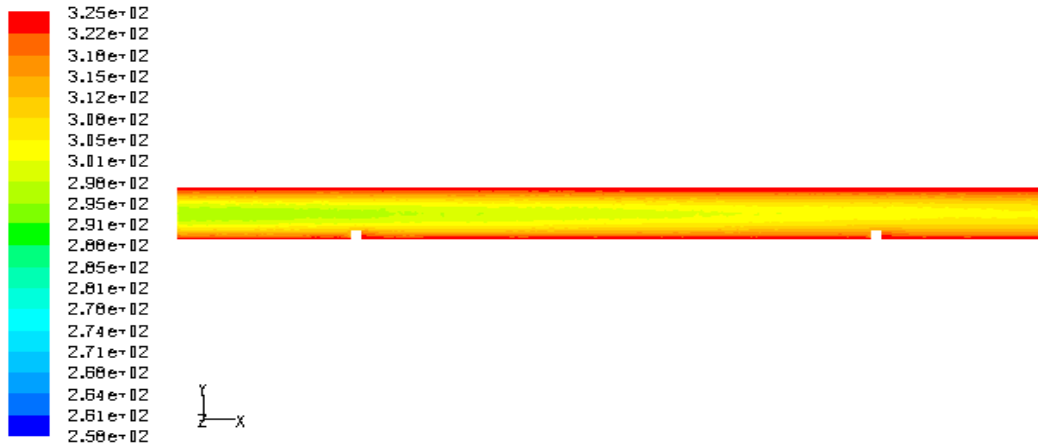
(b) Re=200



(c) Re=300

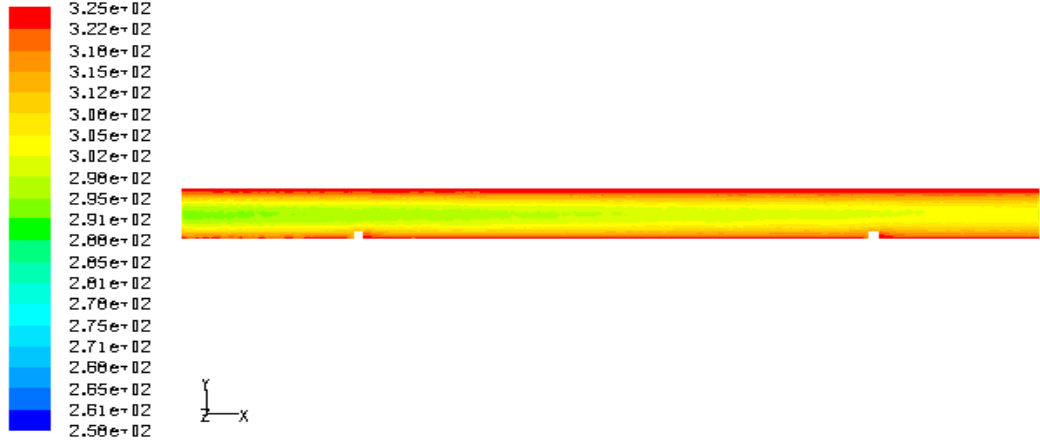


(d) Re=400



Şekil 4.49(Davam) Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki sıcaklık konturlarının farklı Reynolds sayıları için görünümü

(e) $Re=500$

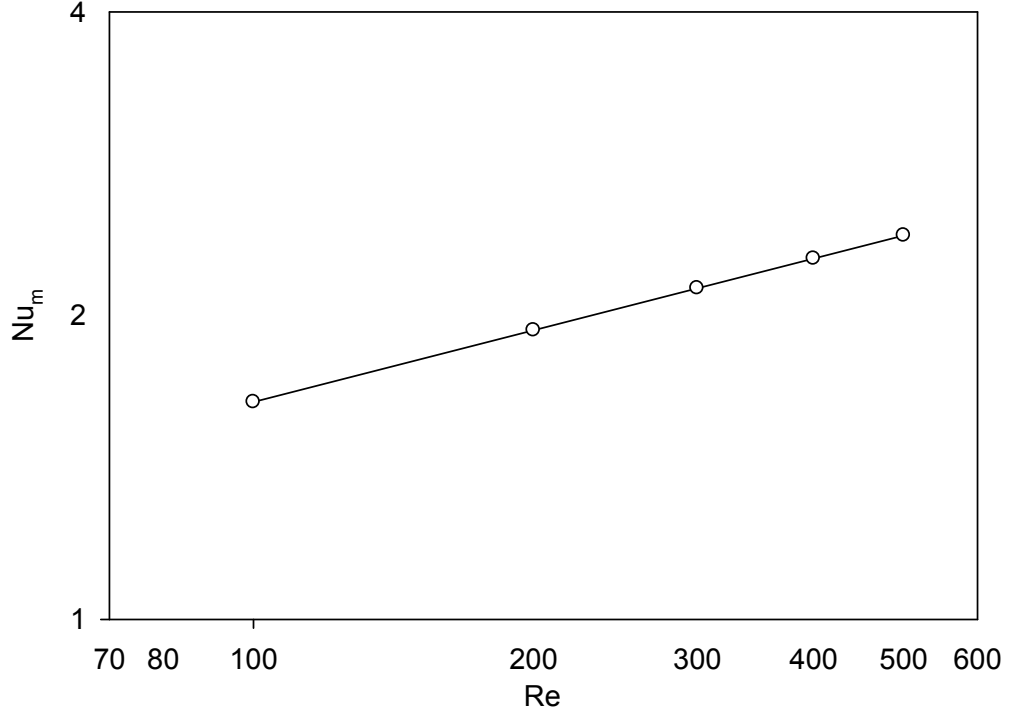


Şekil 4.49(Devam) Kanal içerisine 6x6x6 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki sıcaklık konturlarının farklı Reynolds sayıları için görünümü

4.5. İçerisinde 6x6x7 mm'lik Bloklar Bulunan Kanal İçin Yapılan Sayısal Çalışma Sonuçları

Yamuk kesitli kanal içerisine 6x6x7 mm ölçülerindeki 4 adet bloğun yerleştirildiği durum için sayısal çalışmalar yapılmıştır. Blokların kanal içerisindeki yerleşimi Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Sayısal çalışmalar Reynolds sayısının 100, 200, 300, 400 ve 500 değerleri için gerçekleştirilmiştir.

Ortalama Nusselt sayısı değerleri değişik Reynolds sayıları için Şekil 4.50.'de verilmiştir. Beklenildiği gibi Reynolds sayısının artmasıyla ortalama Nusselt sayısı da artış göstermiştir.

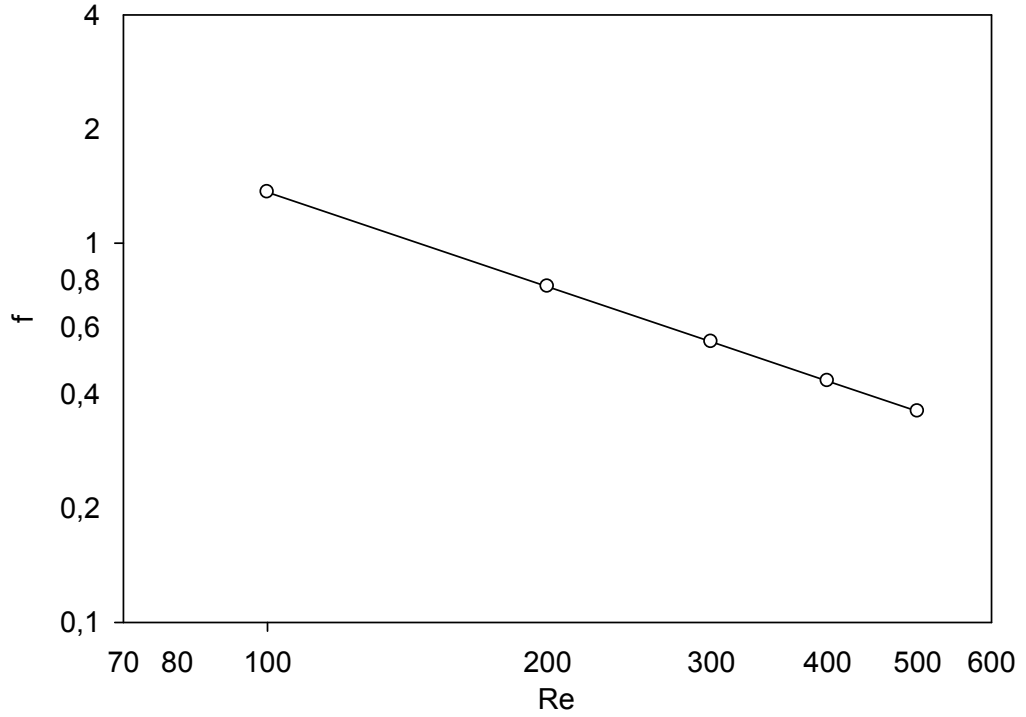


Şekil 4.50. Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

En küçük kareler yöntemi kullanılarak yamuk kesitli kanal içerisinde 6x6x7 mm ölçülerinde blokların yerleştirildiği durum için ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki ampirik olarak şöyle ifade edilmiştir:

$$Nu_m = 0.554 Re^{0.236} \quad (4.9)$$

Kanal içerisinde Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi ise Şekil 4.51.'de verilmiştir.

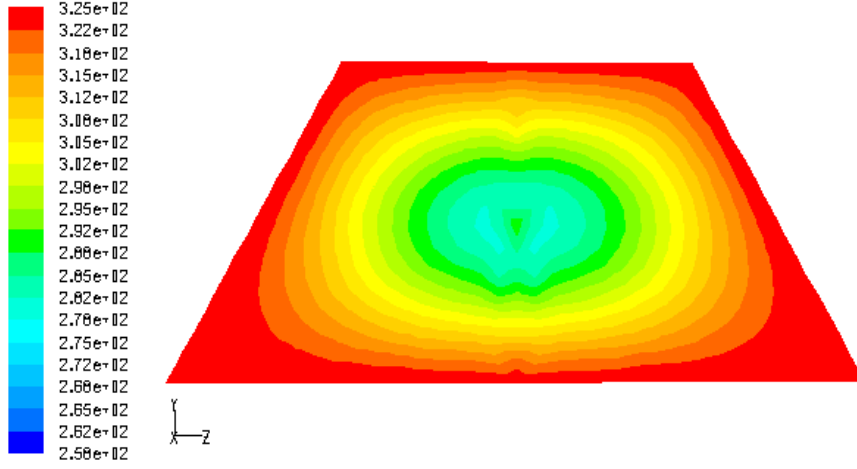
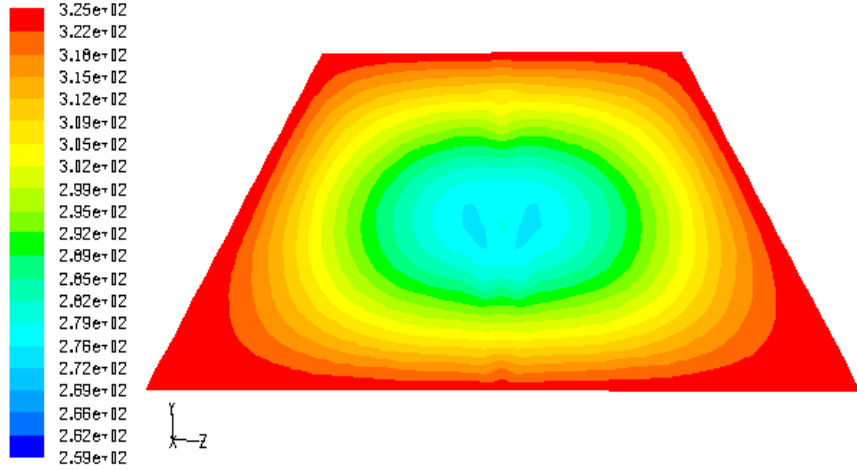
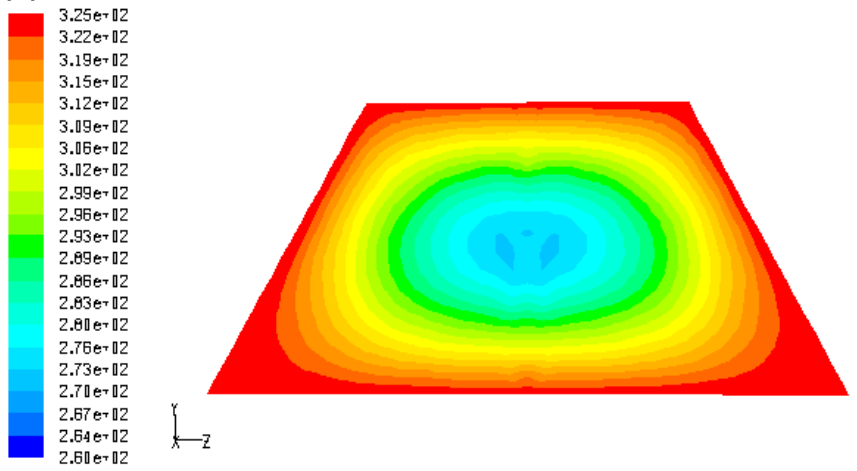


Şekil 4.51. Kanal içersine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi

Şekilde görüldüğü gibi Darcy sürtünme faktörü artan Reynolds sayısı ile azalma göstermiştir. Darcy sürtünme faktörü ile Reynolds sayısı arasındaki bağıntı ampirik olarak şu şekilde ifade edilmiştir:

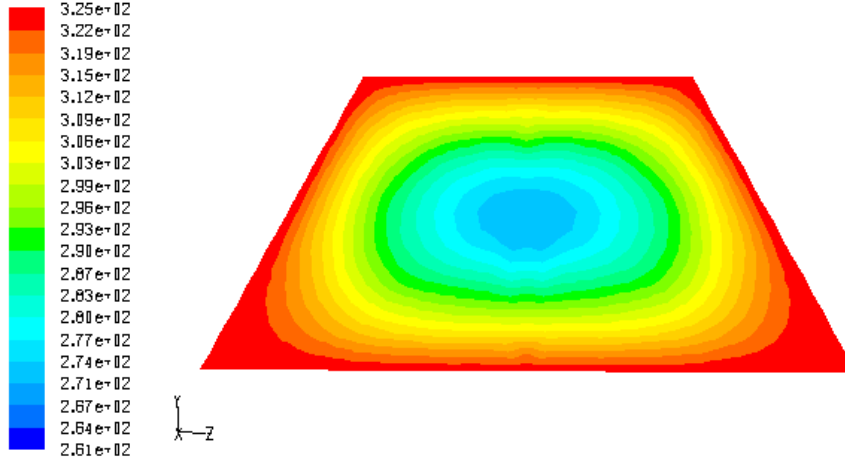
$$f = 61.43 / Re^{0.827} \quad (4.10)$$

Şekil 4.52’de kanal girişinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları Reynolds sayısının 100, 200, 300, 400 ve 500 değerleri için verilmiştir. Kanal giriş kesitinin merkezinde sıcaklık Reynolds sayısının artmasıyla artış göstermiştir. Bu artışın, diğer bloklarla (4, 5 ve 6 mm yükseklikteki) yapılan çözümlere göre 7 mm yüksekliğindeki blokta daha fazla olduğu görülmektedir.

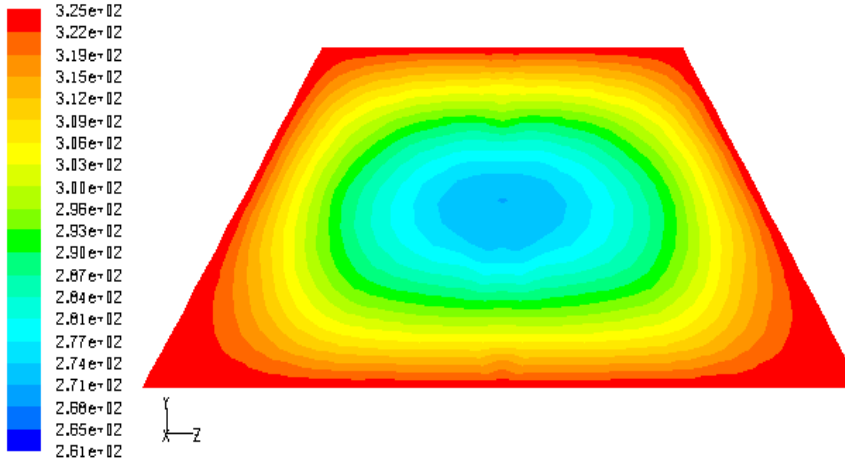
(a) $Re=100$ (b) $Re=200$ (c) $Re=300$ 

Şekil 4.52. Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında kanal giriş kesitinde z-y düzlemindeki sıcaklık konturları

(d) Re=400

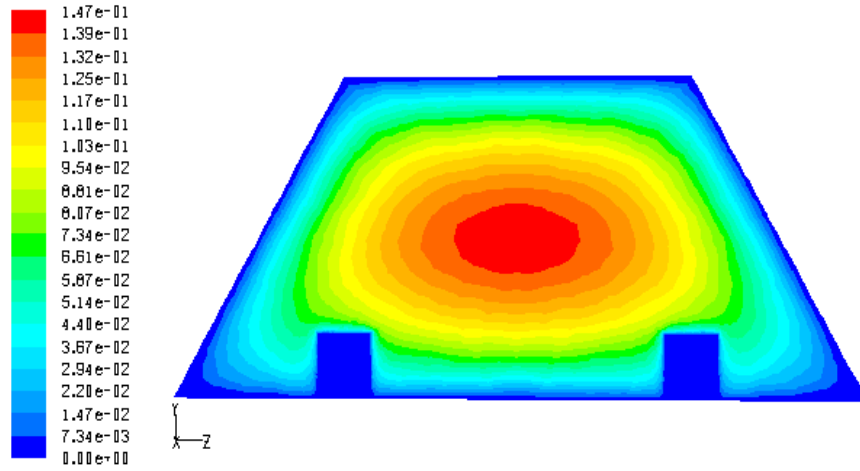
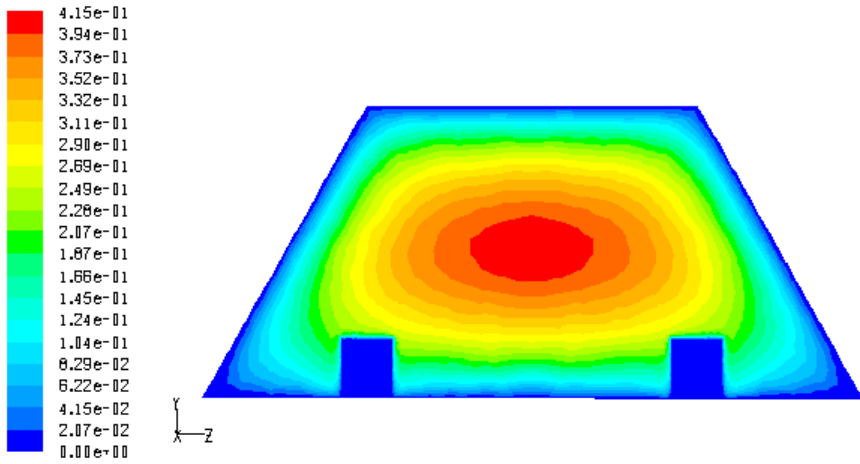
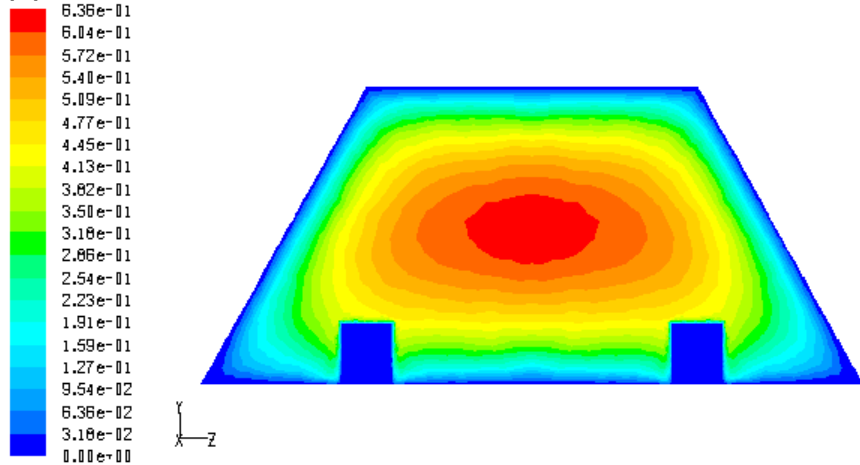


(e) Re=500



Şekil 4.52(Devam) Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında kanal giriş kesitinde z-y düzlemindeki sıcaklık konturları

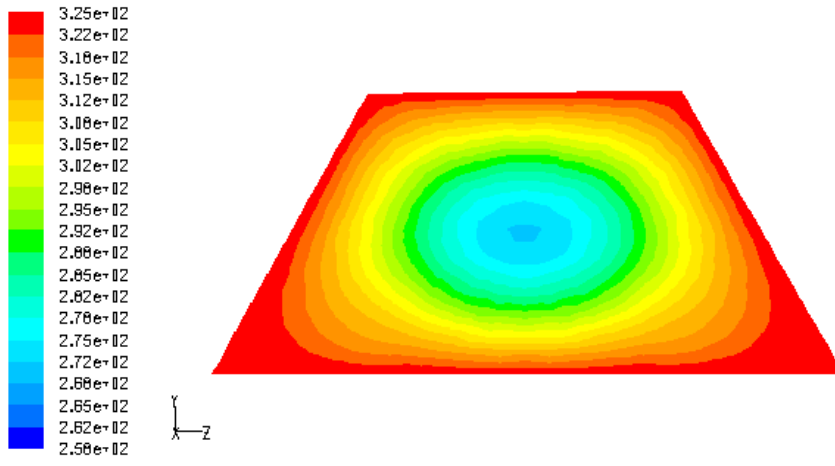
Şekil 4.53'de kanal girişinden $x=0.1$ m mesafeden, blokların ortasından geçen düzlemdeki hız konturları Reynolds sayısının 100, 300, ve 500 değerleri için verilmiştir. Hız sınır tabakasının kalınlığının kanal köşelerinde, kanal duvarlarının yakınında ve blokların kanal tabanı ile birleşim bölgelerinde Reynolds sayısının artmasıyla azaldığı görülmektedir.

(a) $Re=100$ (b) $Re=300$ (c) $Re=500$ 

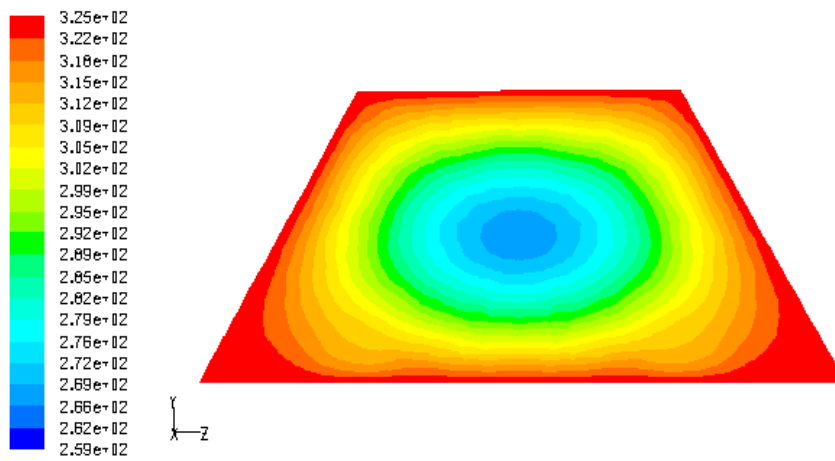
Şekil 4.53. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 7$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m mesafede oluşturulan y-z düzlemindeki hız konturları

Şekil 4.54' de kanal girişinden 0.1 m mesafede bulunan blokların ortasından geçen düzlemdeki sıcaklık konturları farklı Reynolds sayıları için sunulmuştur. Reynolds sayısının artmasıyla bu kesitin merkezinde daha yüksek akışkan sıcaklığına ulaşılmıştır. Blokların konumu sıcaklık konturlarının şekline artan Reynolds sayısı ile daha belirleyici olmuştur.

(a) $Re=100$

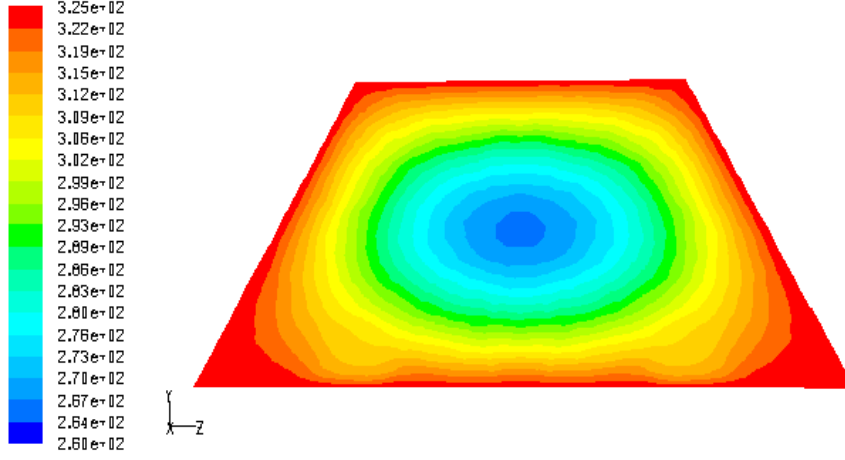


(b) $Re=200$

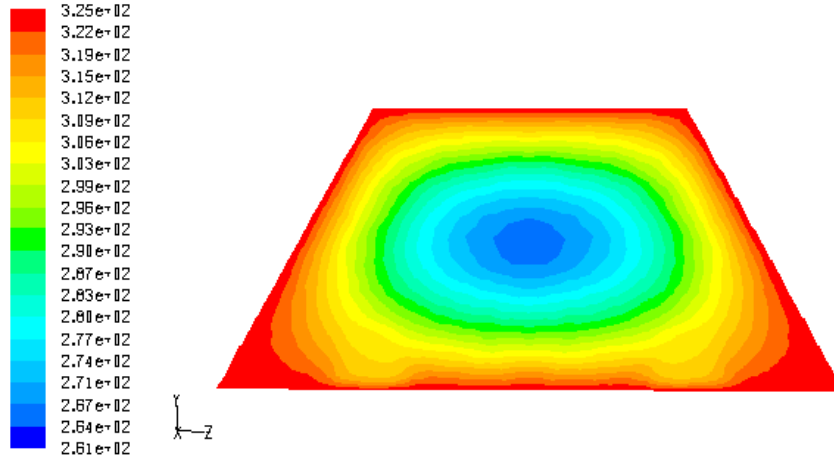


Şekil 4.54. Kanal içine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları

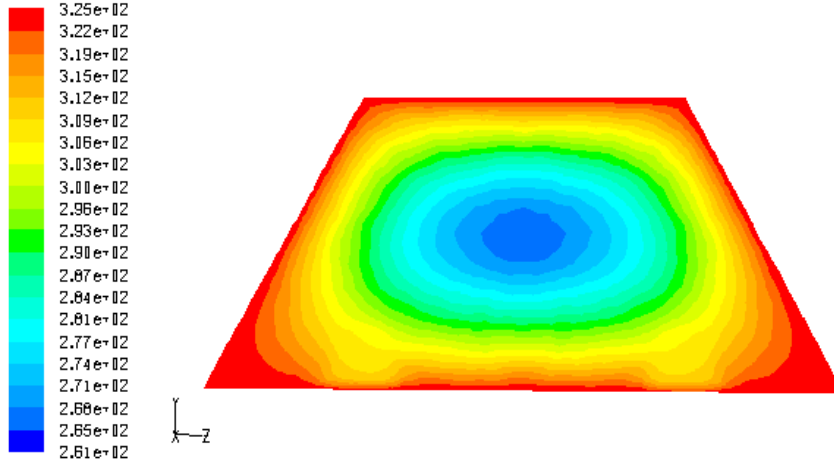
(c) Re=300



(d) Re=400



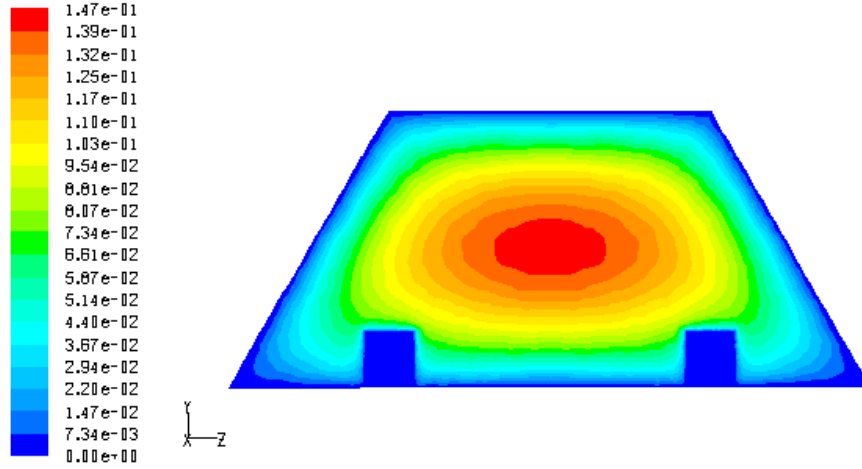
(e) Re=500



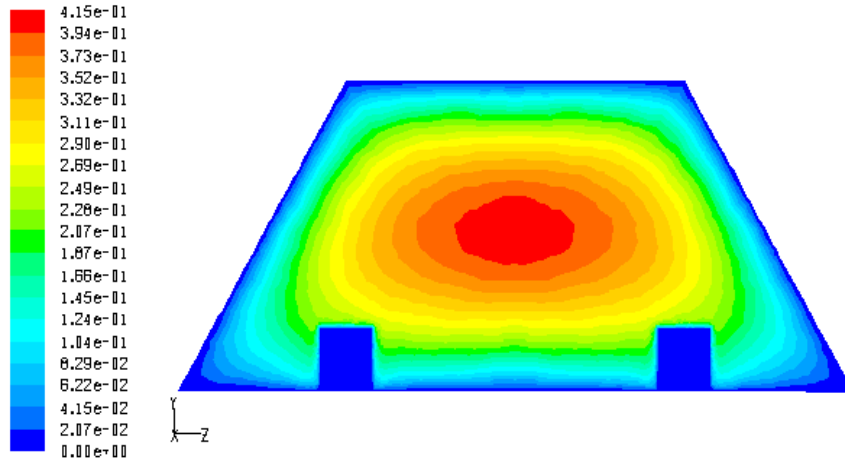
Şekil 4.54(Davam) Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m kesitinden geçen düzlemdaki sıcaklık konturları

Şekil 4.55’de kanal girişinden $x=0.4$ m mesafeden, blokların ortasından geçen düzlemdeki hız konturları Reynolds sayısının 100, 300, ve 500 değerleri için sırasıyla gösterilmiştir. Kanal duvarları yakınında, kanal köşelerinde ve bloklarla kanal tabanının birleştiği bölgelerde hız sınır tabakasındaki azalmanın daha belirgin olduğu ve artan Reynolds sayısı ile azalmaya devam ettiği görülmektedir.

(a) $Re=100$

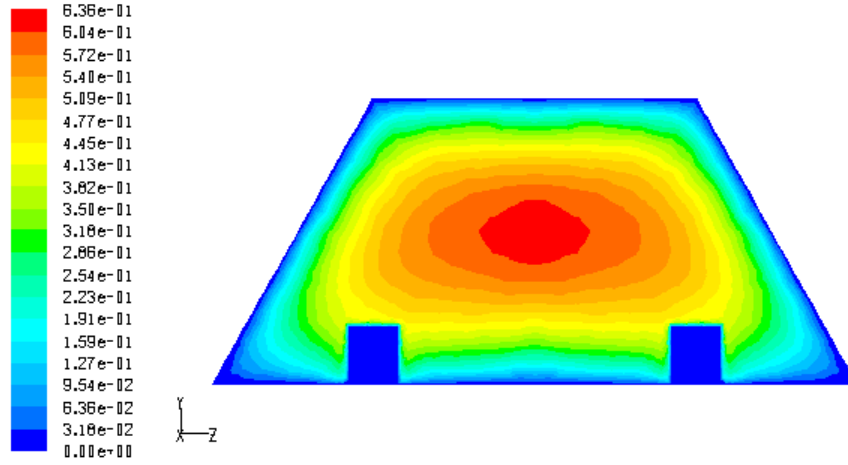


(b) $Re=300$



Şekil 4.55. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 7$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m mesafede oluşturulan y-z düzlemindeki hız konturu

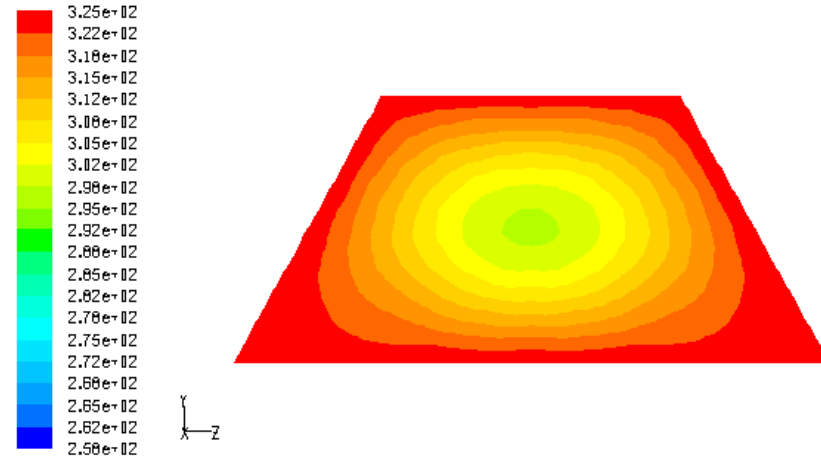
(c) Re=500



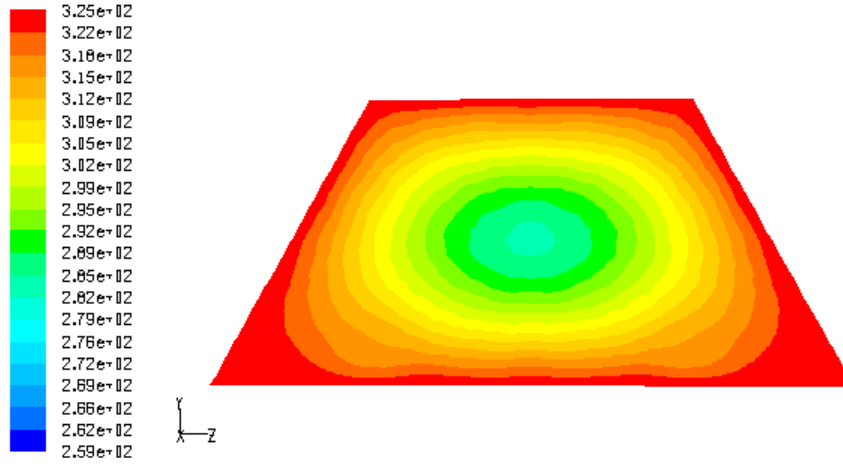
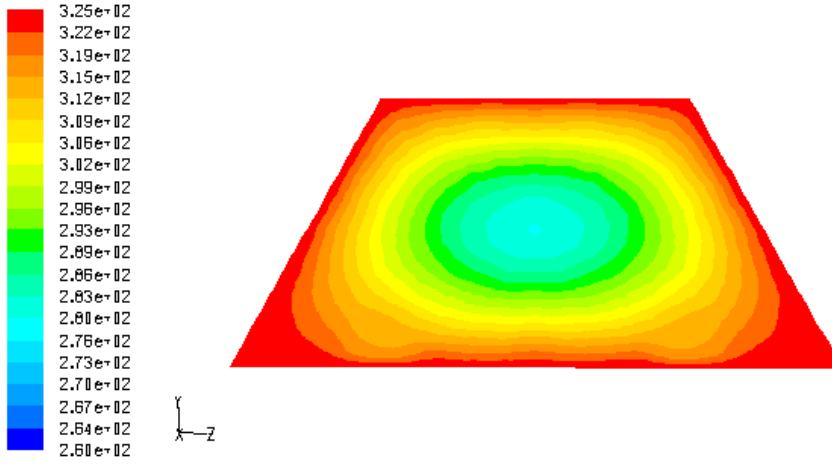
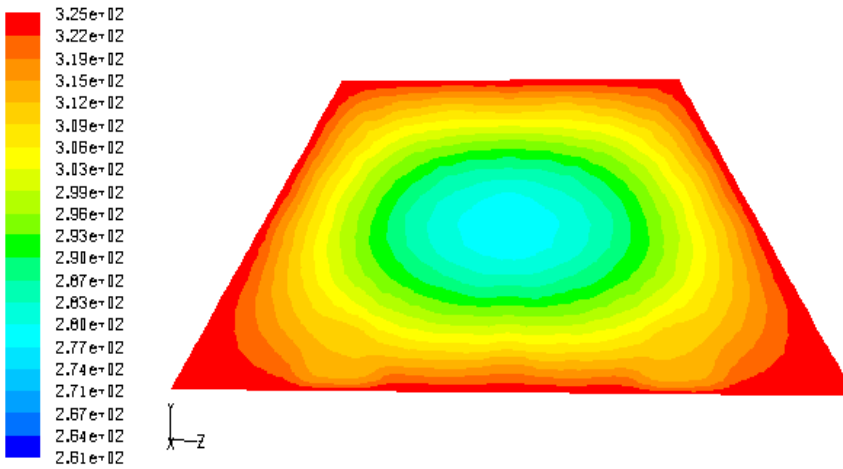
Şekil 4.55(Devam) Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m mesafede oluşturulan y-z düzlemindeki hız konturu

Şekil 4.56'da kanal girişinden $x=0.4$ m mesafede bulunan blokların ortasından geçen düzlemdeki sıcaklık konturları farklı Reynolds sayıları için sunulmuştur. Artan Reynolds sayısı ile ısı sınır tabaka azalmaktadır.

(a) Re=100

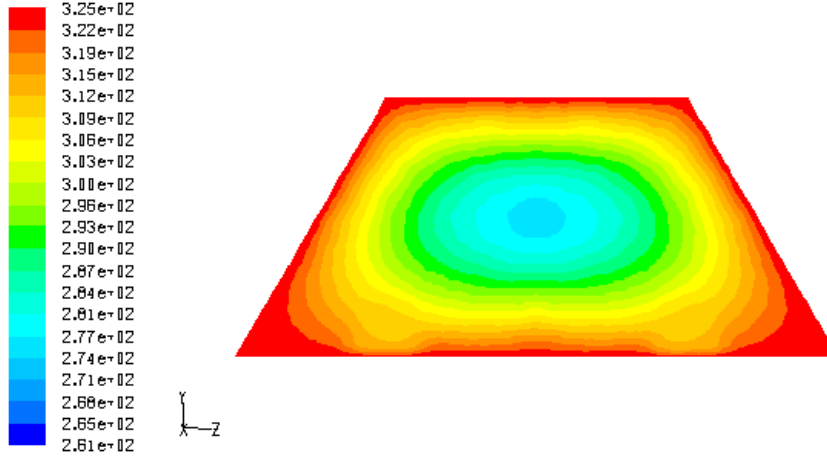


Şekil 4.56. Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları

(b) $Re=200$ (c) $Re=300$ (d) $Re=400$ 

Şekil 4.56(Davam) Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinden geçen düzlemdaki sıcaklık konturları

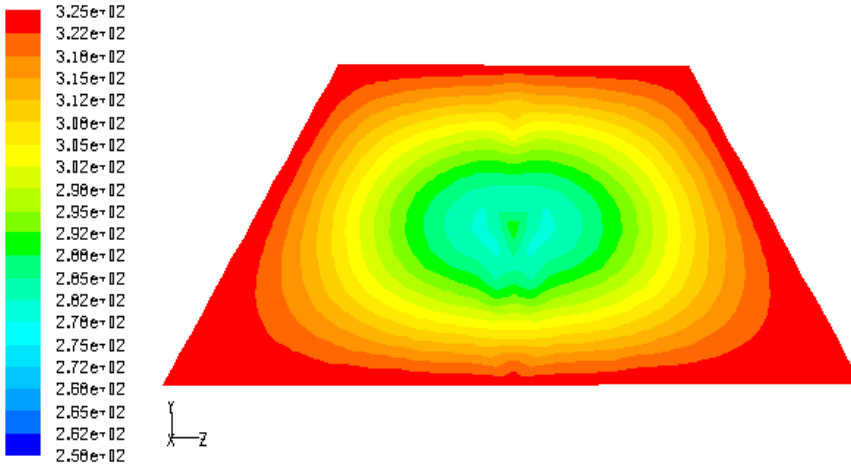
(e) Re=500



Şekil 4.56(Devam) Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları

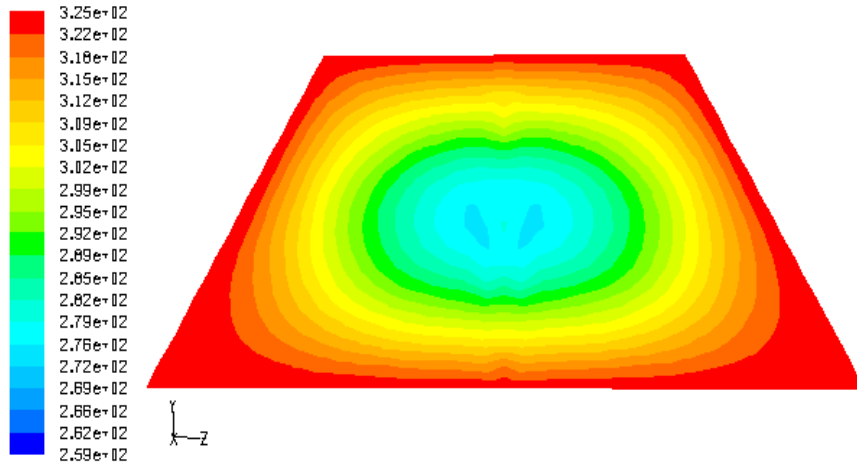
Şekil 4.57'de kanal girişinden $x=0.5$ m mesafede olan kanal çıkışından geçen düzlemdeki sıcaklık konturları Reynolds sayısının 100, 200, 300, 400 ve 500 değerleri için sırasıyla gösterilmiştir. Yamuk kesitli kanalın çıkış kesitinde kanal duvarlarında ve kanal köşelerinde artan Reynolds sayısı ile ısı tabakanın azaldığı görülmektedir. Ayrıca akışkan içerisindeki sıcaklık dağılımı blokların etkisi ile şekillenmiştir.

(a) Re=100

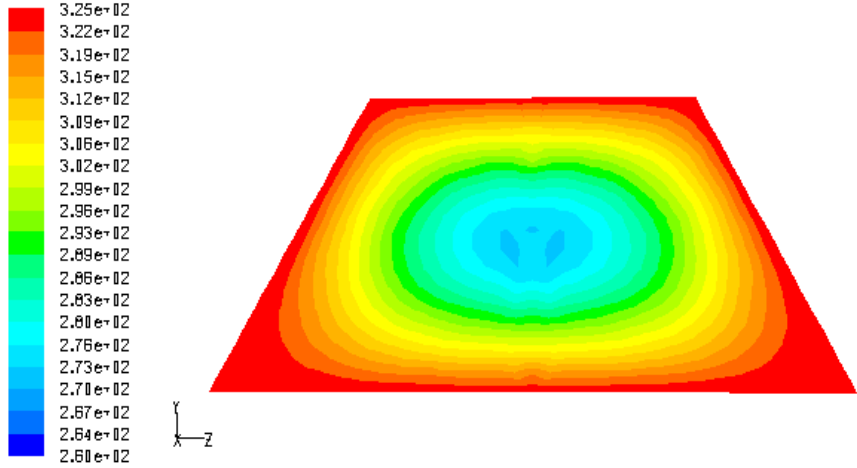


Şekil 4.57. Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için kanal çıkış kesitinde z-y düzlemindeki sıcaklık konturları

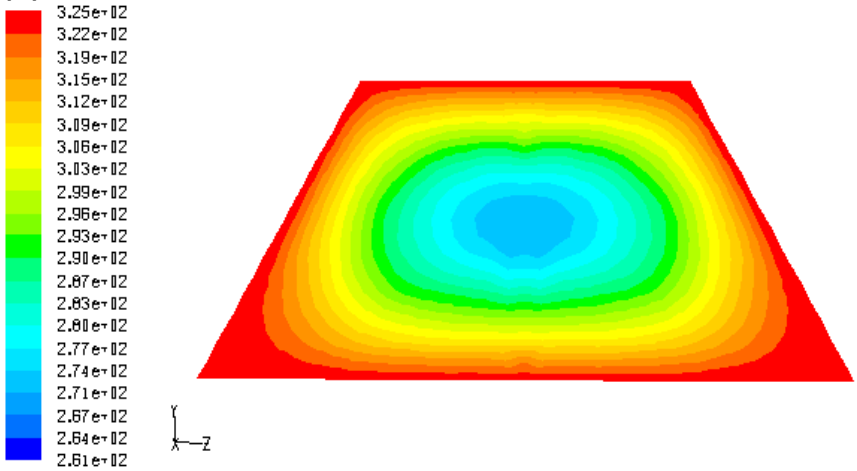
(b) Re=200



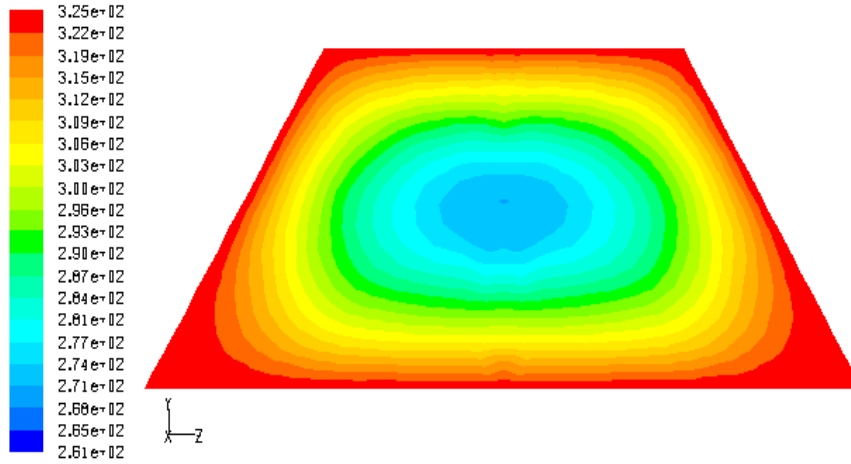
(c) Re=300



(d) Re=400



Şekil 4.57(Davam) Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için kanal çıkış kesitinde z-y düzlemindeki sıcaklık konturları

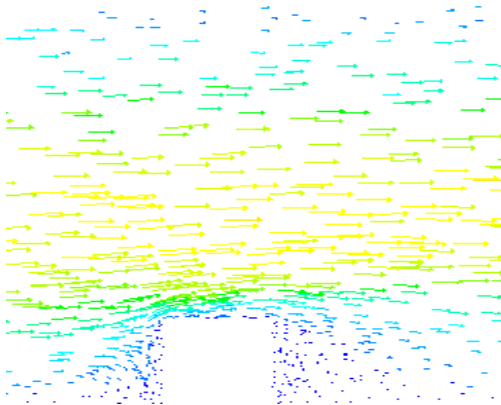
(e) $Re=500$ 

Şekil 4.57(Devam) Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için kanal çıkış kesitinde z-y düzlemindeki sıcaklık konturları

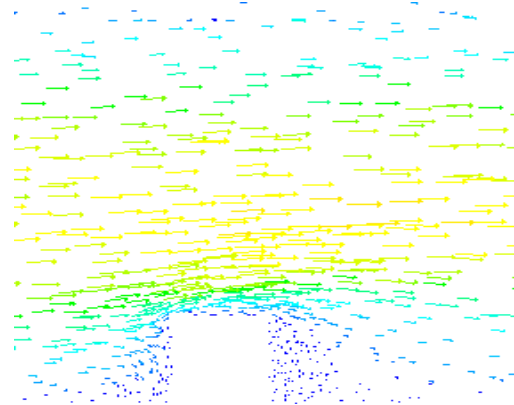
Blokların tam üzerinden geçen ($z=0.02$ m) x-y düzleminde farklı Reynolds sayıları için hız vektörleri Şekil 4.58'de verilmiştir. Kanal girişine yakın olan blok 1 numaralı blok, kanal çıkışına yakın olan blok ise 2 numaralı blok olarak adlandırılmıştır. Blokların arkasında oluşan düşük akışkan hızındaki bölge Reynolds sayının artmasıyla daha geniş alan kaplamaktadır. Hız sınır tabakası kalınlığı kanal üst duvarında daha geniş iken blokların bulunduğu kanal taban duvarında daha küçüktür.

(a) $Re=100$

1 no'lu blok

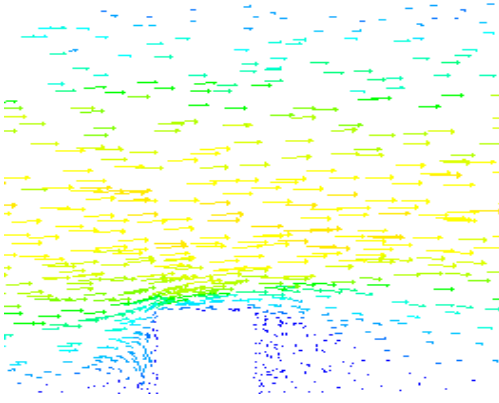


2 no'lu blok

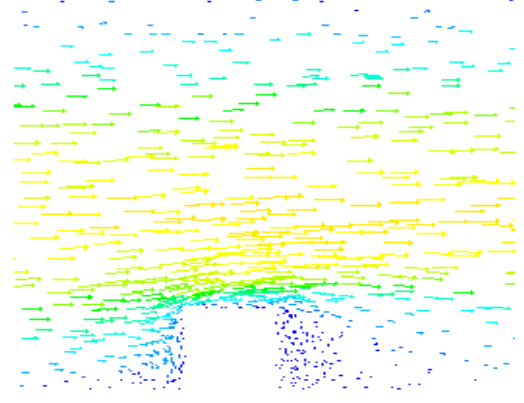


Şekil 4.58. Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki hız vektörlerinin farklı Reynolds sayıları için görünümü

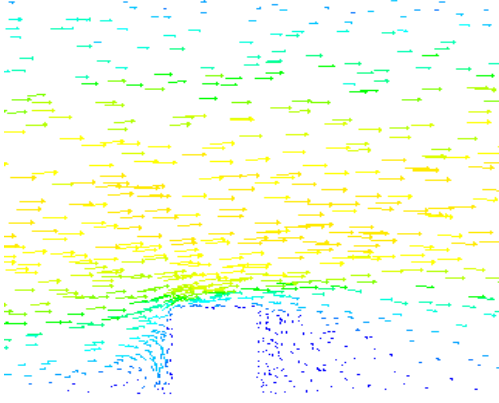
(b) Re=200
1 no'lu blok



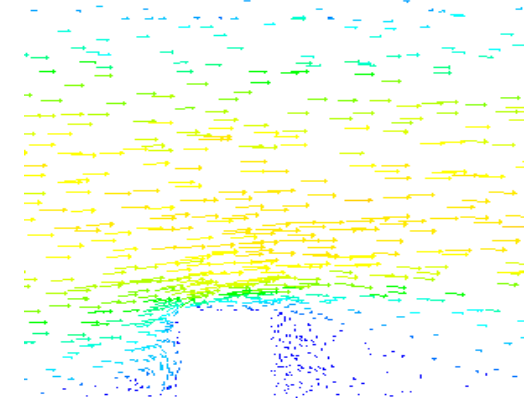
2 no'lu blok



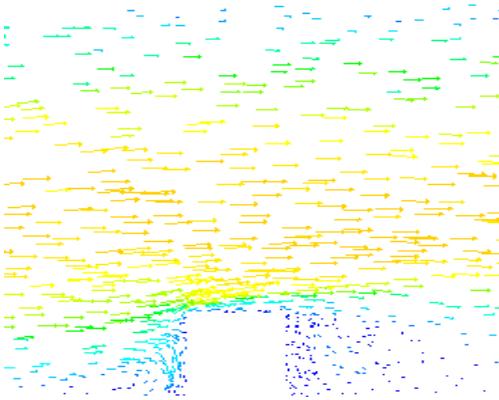
(c) Re=300
1 no'lu blok



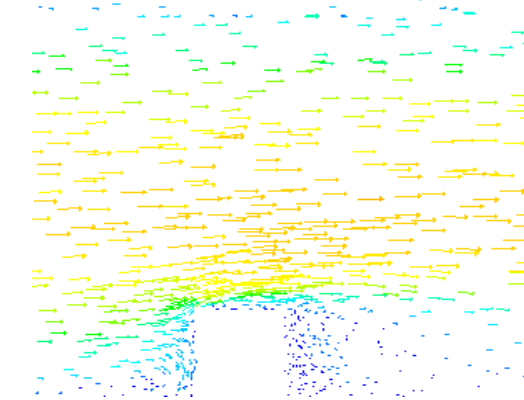
2 no'lu blok



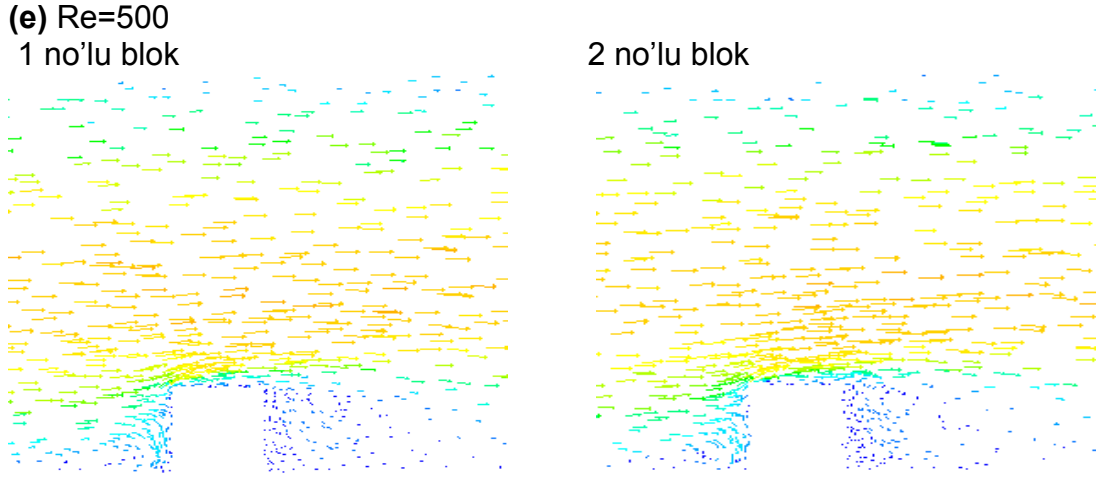
(d) Re=400
1 no'lu blok



2 no'lu blok

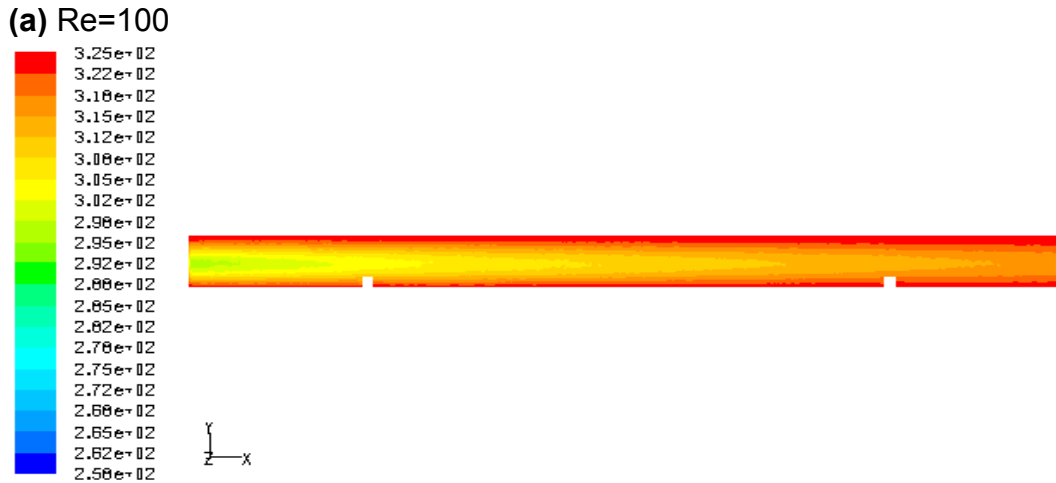


Şekil 4.58(Devam) Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki hız vektörlerinin farklı Reynolds sayıları için görünümü



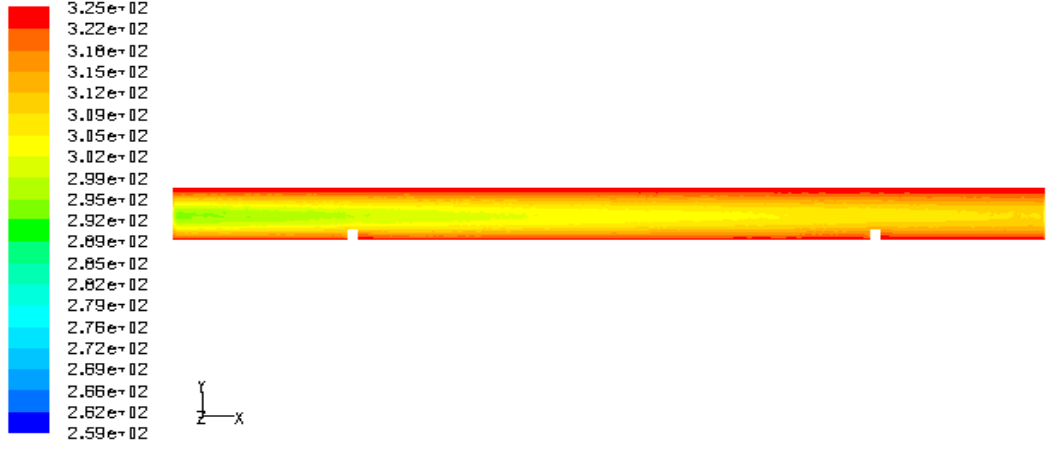
Şekil 4.58(Devam) Kanal içerisine $6 \times 6 \times 7$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki hız vektörlerinin farklı Reynolds sayıları için görünümü

Blokların tam üzerinden geçen ($z=0.02$ m) x-y düzleminde farklı Reynolds sayıları için sıcaklık konturları Şekil 4.59'da verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi akışkan düşük Reynolds sayısında kanal çıkışında daha yüksek sıcaklığa ulaşmaktadır.

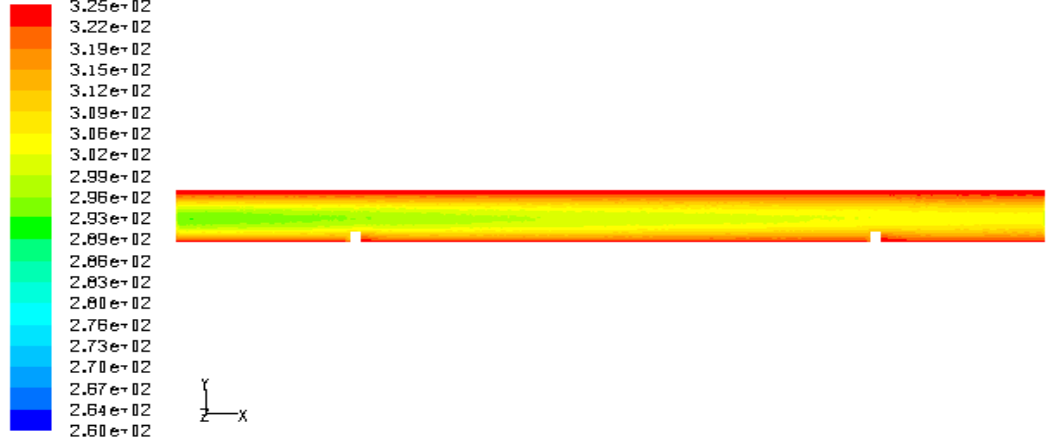


Şekil 4.59. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 7$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki sıcaklık konturlarının farklı Reynolds sayıları için görünümü

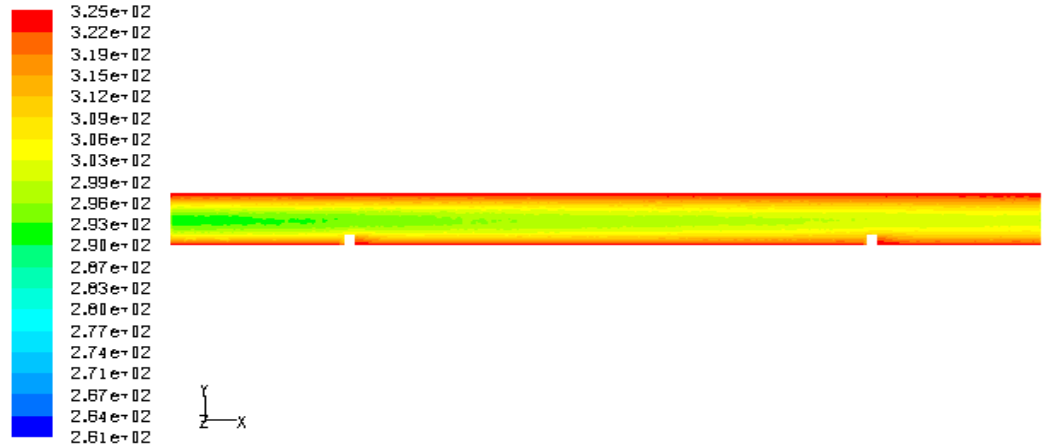
(b) Re=200



(c) Re=300

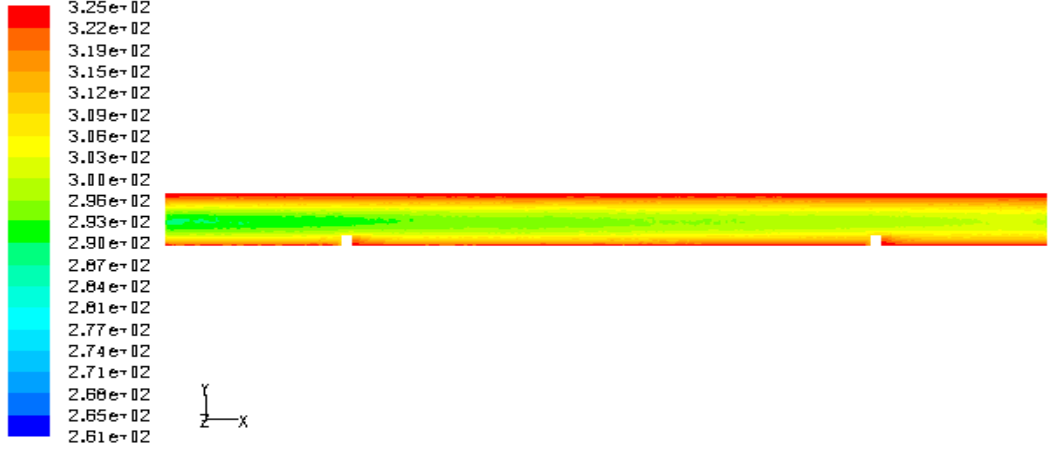


(d) Re=400



Şekil 4.59(Devam) Kanal içersine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda z=0.02 m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki sıcaklık konturlarının farklı Reynolds sayıları için görünümü

(e) $Re=500$

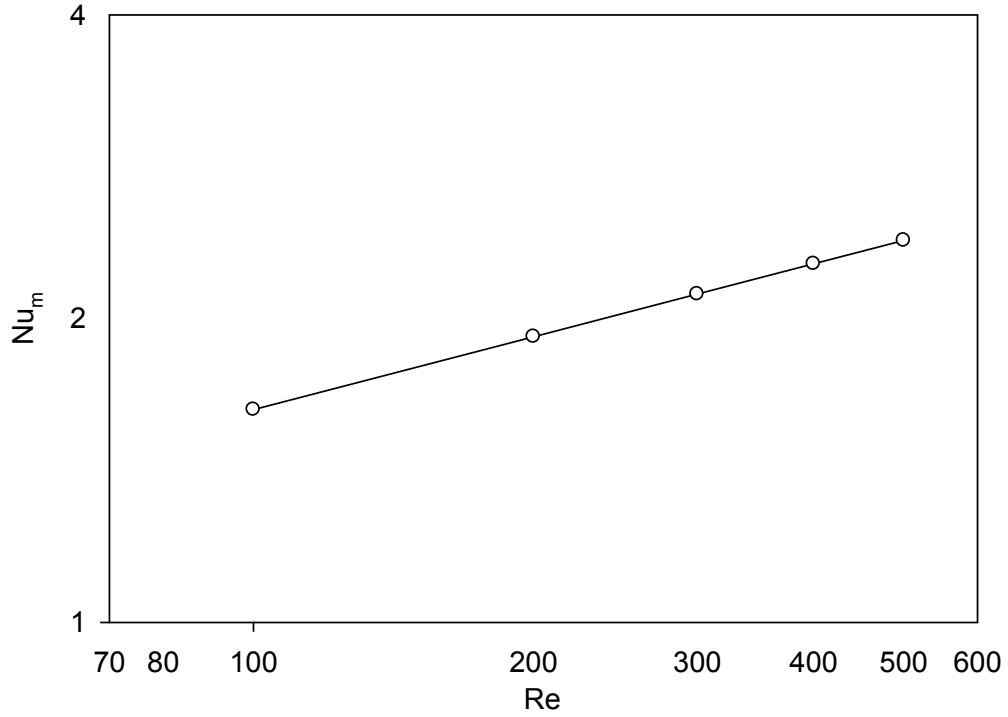


Şekil 4.59(Davam) Kanal içerisine 6x6x7 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki sıcaklık konturlarının farklı Reynolds sayıları için görünümü

4.6. İçerisinde 6x6x8.5 mm'lik Bloklar Bulunan Kanal İçin Yapılan Sayısal Çalışma Sonuçları

Yamuk kesitli kanal içerisine 6x6x8.5 mm ölçülerindeki 4 adet bloğun yerleştirildiği durum için sayısal çalışmalar yapılmıştır. Blokların kanal içerisindeki yerleşimi Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Sayısal çalışmalar Reynolds sayısının 100, 200, 300, 400 ve 500 değerleri için gerçekleştirilmiştir.

Ortalama Nusselt sayısı değerleri değişik Reynolds sayıları için Şekil 4.60'da verilmiştir. Beklenildiği gibi Reynolds sayısının artmasıyla ortalama Nusselt sayısı da artış göstermiştir.

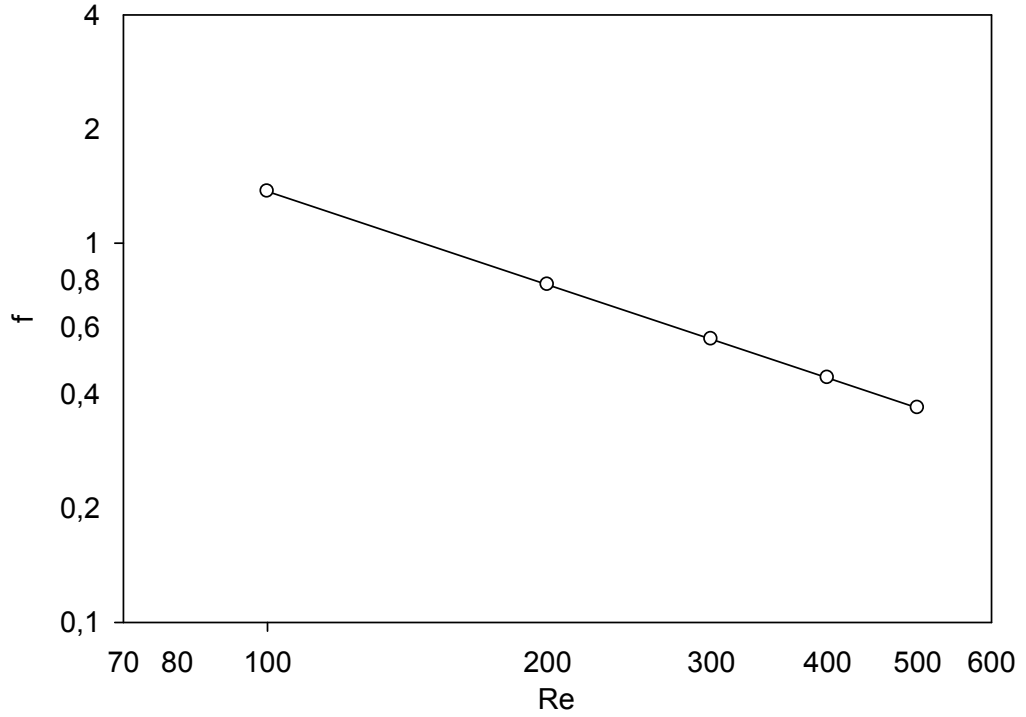


Şekil 4.60. Kanal içerisine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

En küçük kareler yöntemi kullanılarak yamuk kesitli kanal içerisinde 6x6x8.5 mm ölçülerinde blokların yerleştirildiği durum için ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki ampirik olarak şöyle ifade edilebilir:

$$Nu_m = 0.538 Re^{0.240} \quad (4.11)$$

Kanal içerisinde Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi ise Şekil 4.61’de verilmiştir.

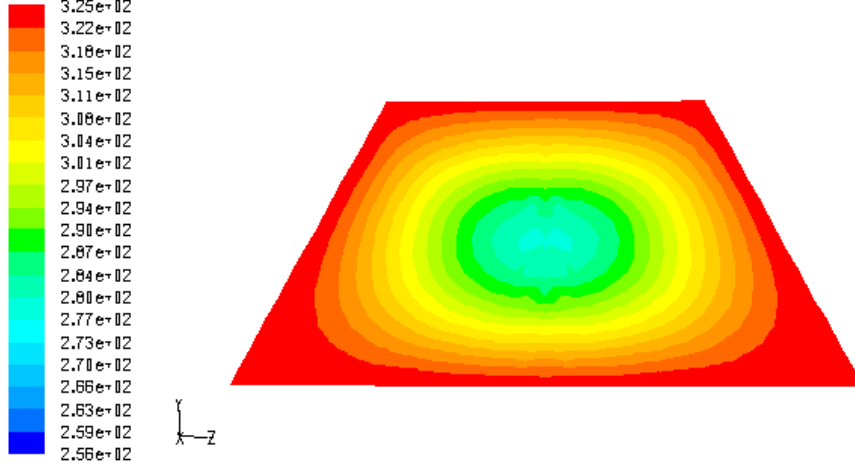
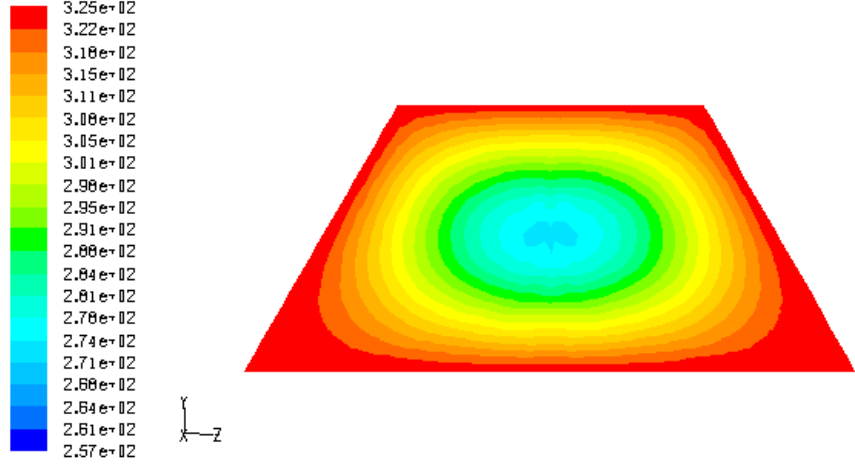
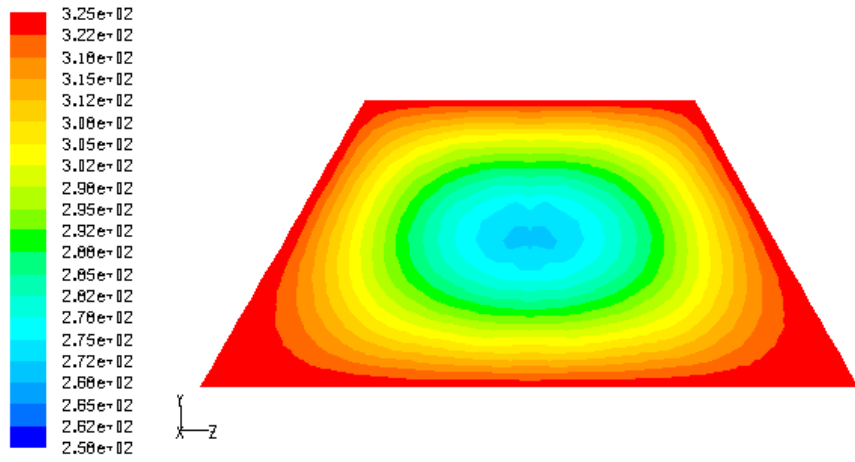


Şekil 4.61. Kanal içersine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi

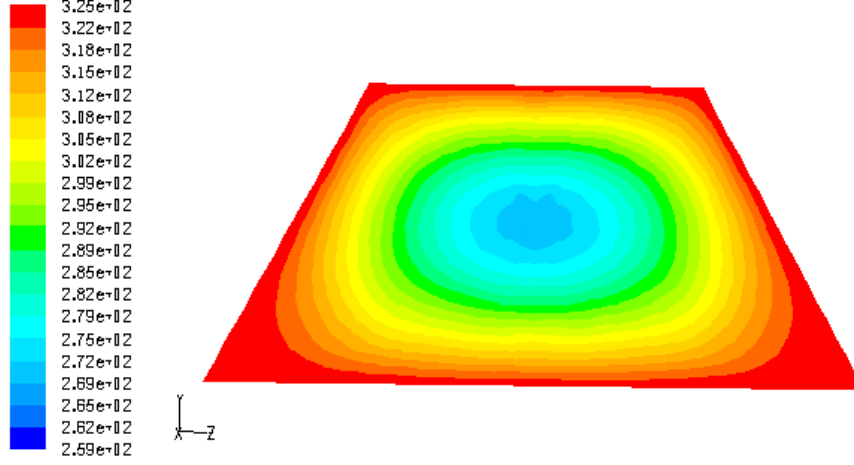
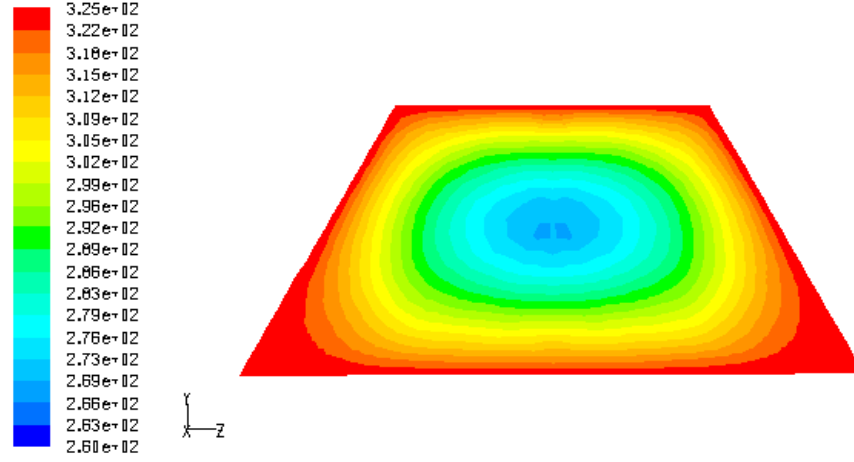
Şekilde görüldüğü gibi Darcy sürtünme faktörü artan Reynolds sayısı ile azalma göstermiştir. Darcy sürtünme faktörü ile Reynolds sayısı arasındaki bağıntı ampirik olarak şu şekilde ifade edilmiştir:

$$f = 58.94 / Re^{0.817} \quad (4.12)$$

Şekil 4.62'de kanal girişinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları Reynolds sayısının 100, 200, 300, 400 ve 500 değerleri için sırasıyla gösterilmiştir. Artan Reynolds sayısı ile ısı sınır tabaka kalınlığı azalmıştır.

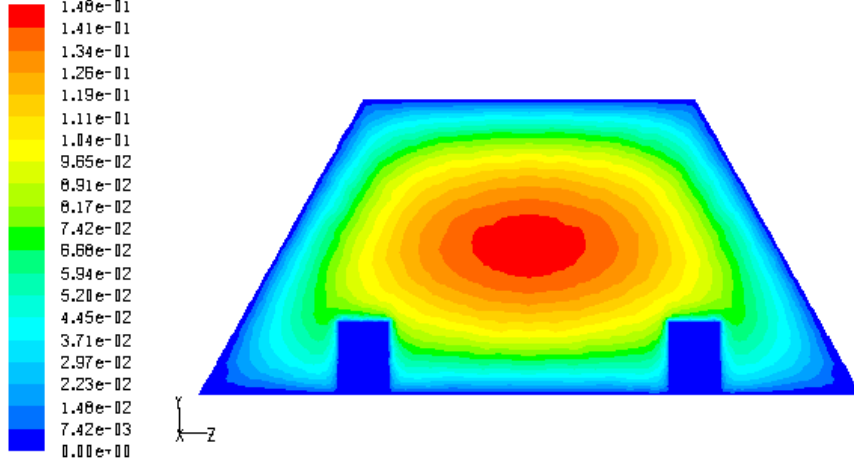
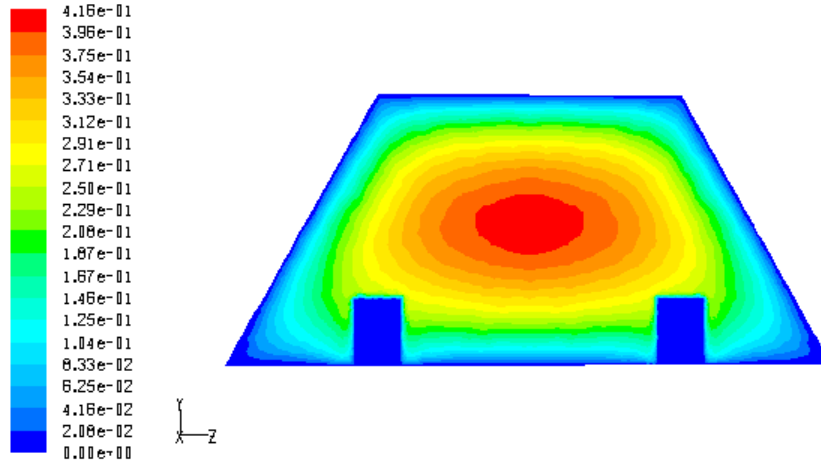
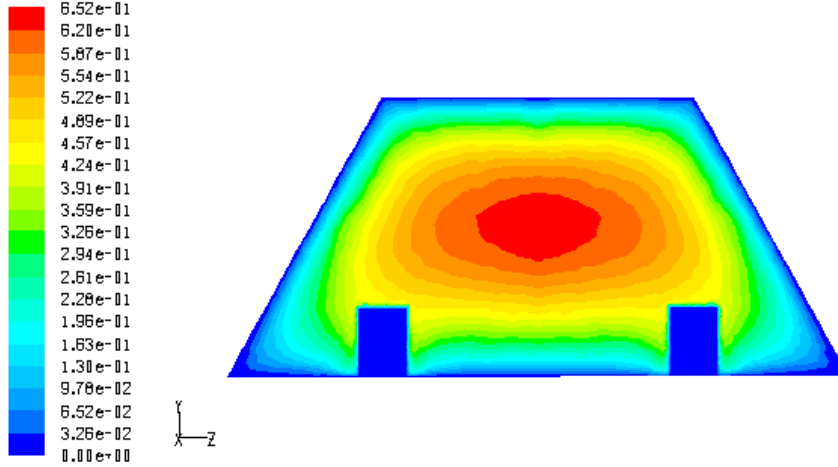
(a) $Re=100$ (b) $Re=200$ (c) $Re=300$ 

Şekil 4.62. Kanal içerisine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında giriş kesitinde oluşturulan z-y düzlemindeki sıcaklık konturları

(d) $Re=400$ (e) $Re=500$ 

Şekil 4.62(Devam) Kanal içerisine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında giriş kesitinde oluşturulan z-y düzlemindeki sıcaklık konturları

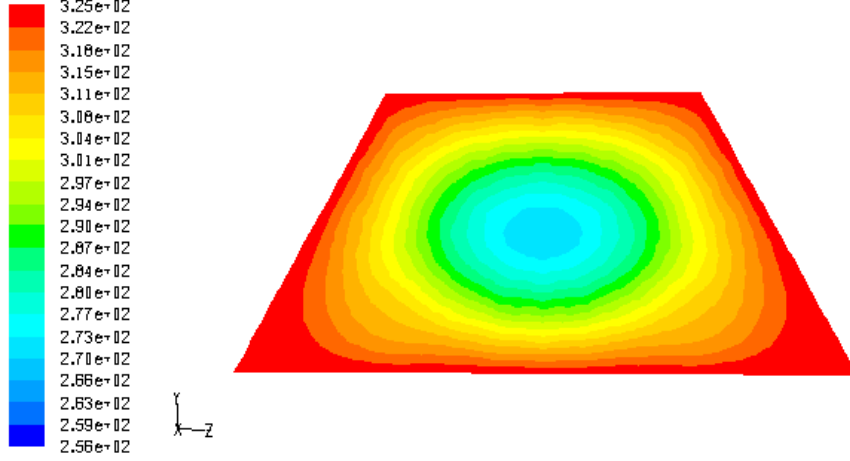
Şekil 4.63'de kanal girişinden $x=0.1$ m mesafeden blokların ortasından geçen düzlemdeki hız konturları Reynolds sayısının 100, 300, ve 500 değerleri için sırasıyla gösterilmiştir. Kanal içerisindeki blok yüksekliğinin artmasıyla hız konturlarının şeklinin bloklardan belirgin şekilde etkilendiği görülmektedir. Hız sınır tabakası kanal duvarlarında ve kanal köşelerinde ayrıca blokların kanal taban duvarı ile birleşim bölgesinde belirgin olarak azalmaktadır.

(a) $Re=100$ (b) $Re=300$ (c) $Re=500$ 

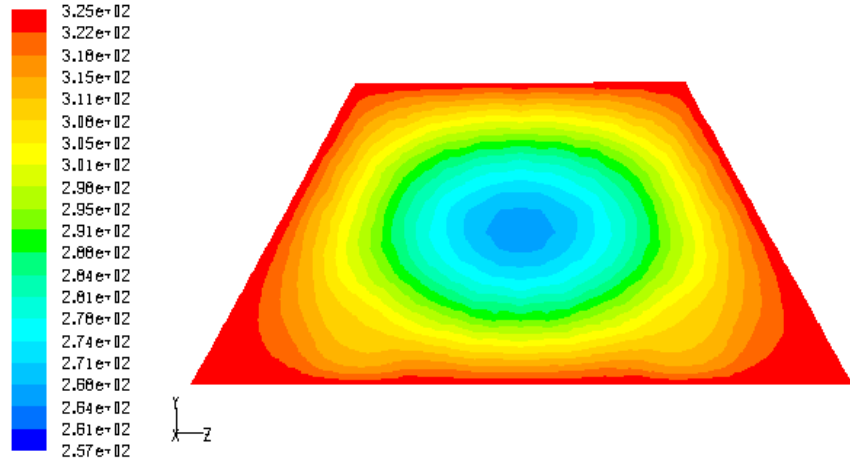
Şekil 4.63. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 8.5$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m mesafede oluşturulan z-y düzlemindeki hız konturları

Şekil 4.64'de kanal girişinden $x=0.1$ m mesafede bulunan blokların ortasından geçen düzlemdeki sıcaklık konturları farklı Reynolds sayıları için sunulmuştur. Görüldüğü gibi artan Reynolds sayısı ile ısıl sınır tabaka kalınlığı azalmıştır.

(a) $Re=100$

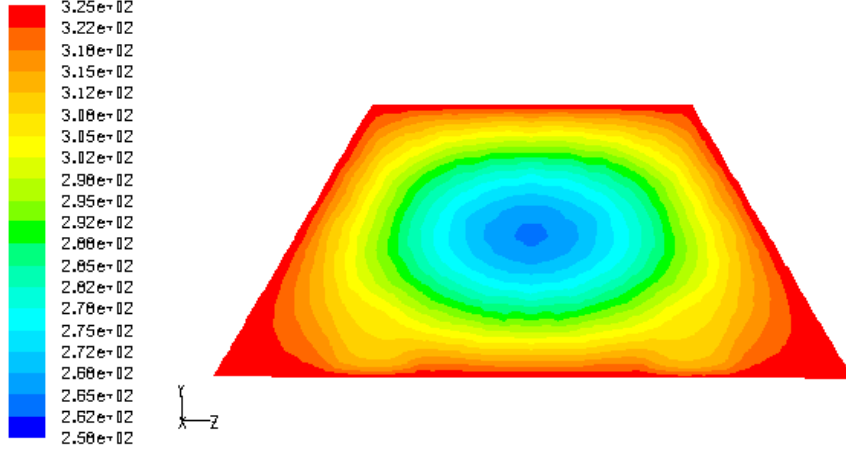


(b) $Re=200$

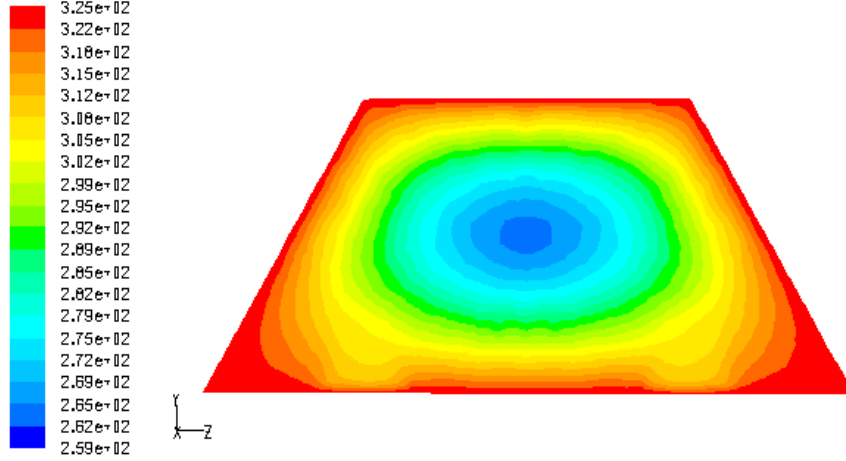


Şekil 4.64. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 8.5$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları

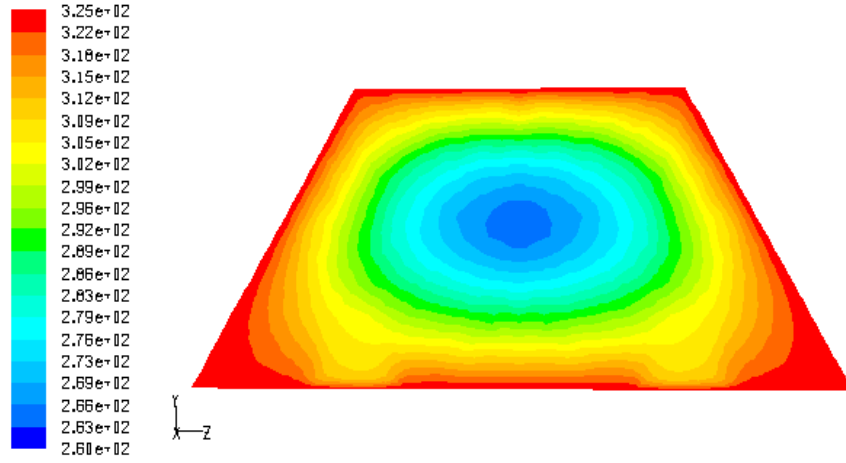
(c) Re=300



(d) Re=400



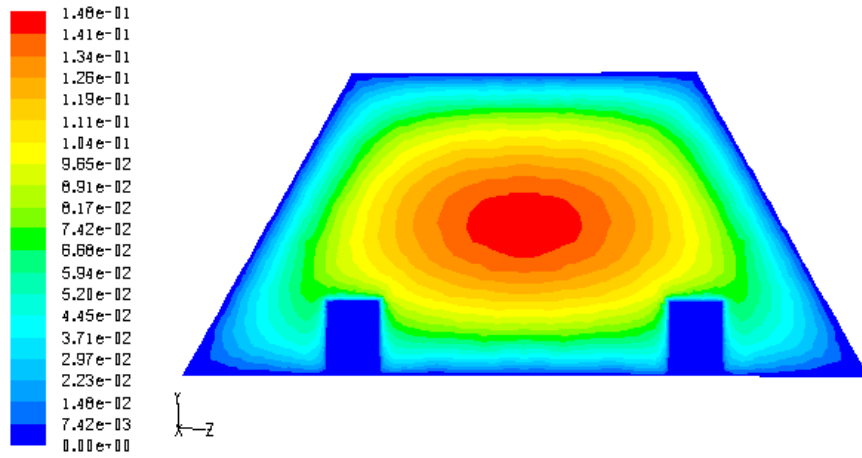
(e) Re=500



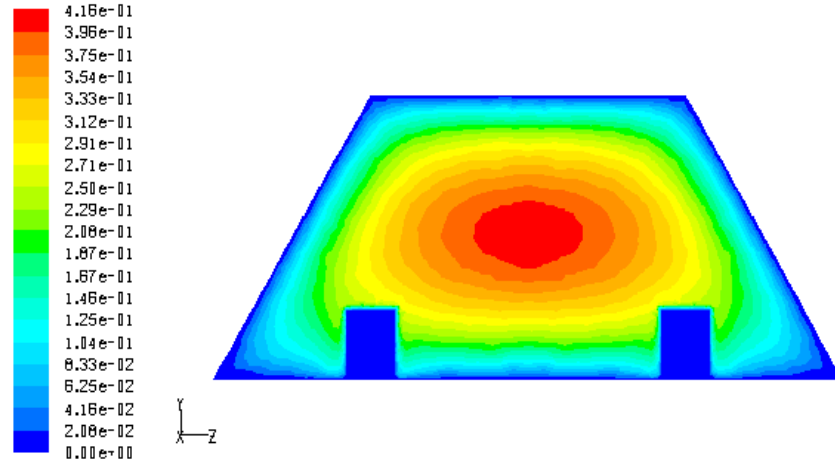
Şekil 4.64(Devam) Kanal içerisine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.1$ m kesitinden geçen düzlemdeki sıcaklık konturları

Şekil 4.65'de kanal girişinden $x=0.4$ m mesafeden blokların ortasından geçen düzlemdaki hız konturları Reynolds sayısının 100, 300, ve 500 değerleri için sırasıyla verilmiştir. Kanal duvarları yakınında, kanal köşelerinde ve bloklarla kanal tabanının birleştiği bölgelerde hız sınır tabakasındaki azalmanın daha belirgin olduğu ve artan Reynolds sayısı ile azalmaya devam ettiği görülmektedir.

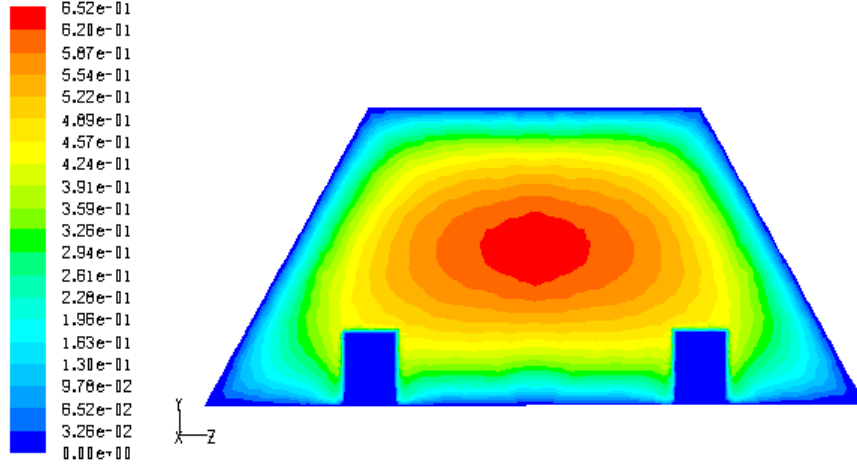
(a) $Re=100$



(b) $Re=300$

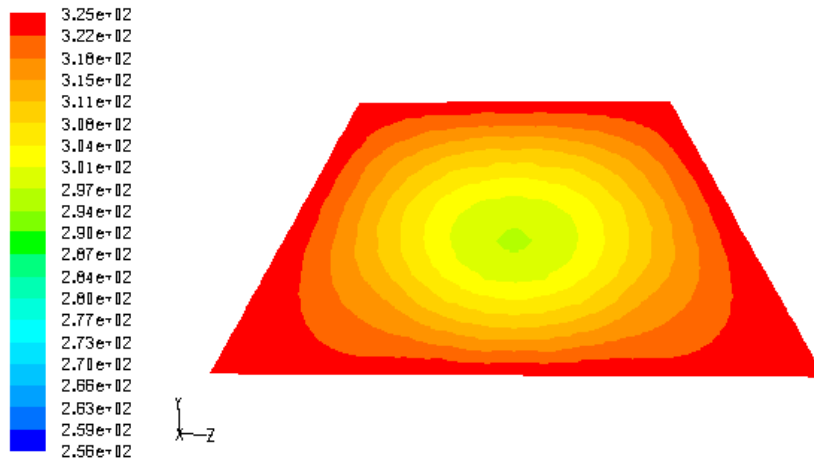


Şekil 4.65. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 8.5$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m mesafede oluşturulan z - y düzlemindeki hız konturları

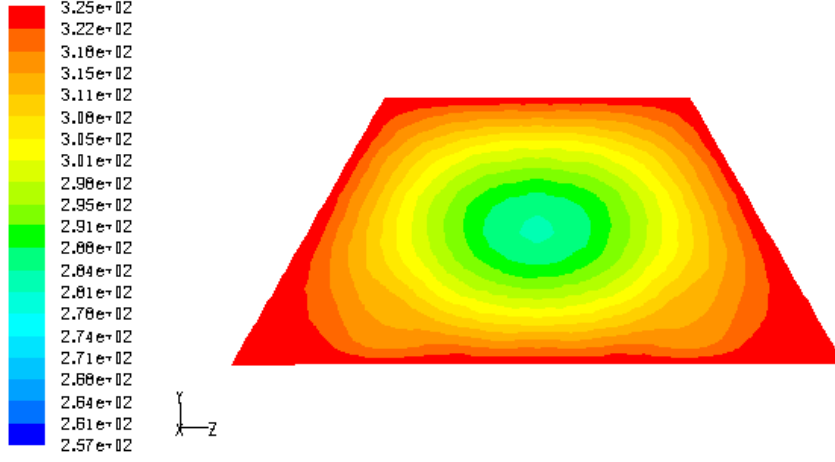
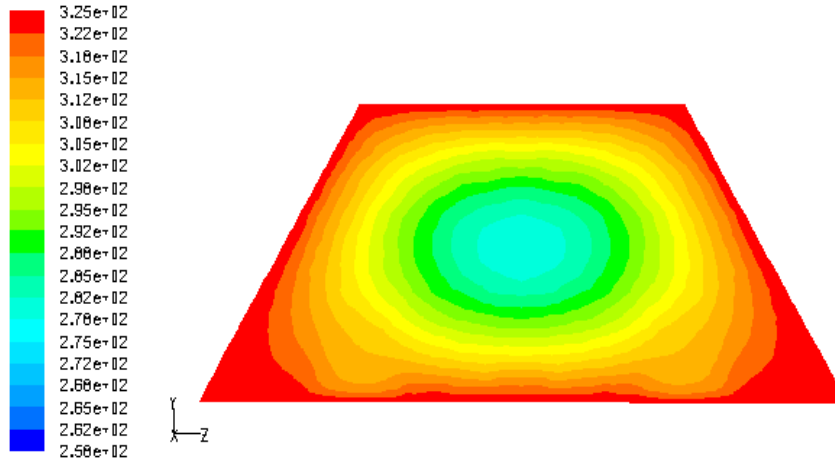
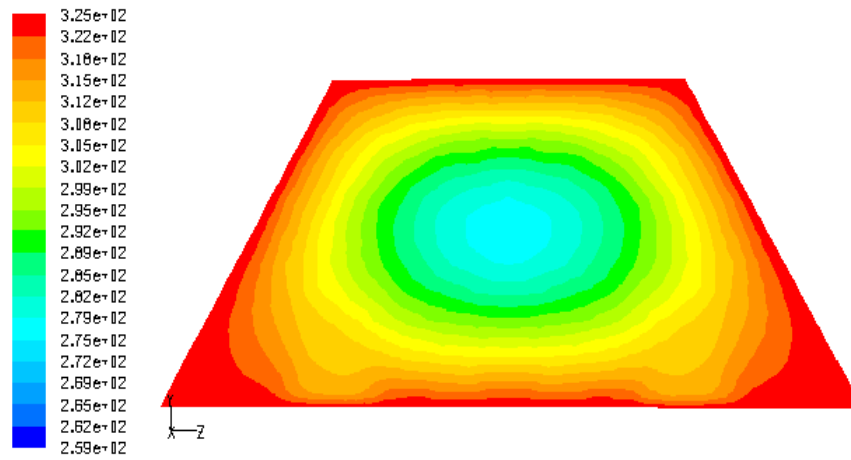
(c) $Re=500$ 

Şekil 4.65(Devam) Kanal içerisine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m mesafede oluşturulan z-y düzlemindeki hız konturları

Şekil 4.66'da kanal girişinden $x=0.4$ m mesafede bulunan blokların ortasından geçen düzlemdeki sıcaklık konturları farklı Reynolds sayıları için sunulmuştur. Artan Reynolds sayısı ile ısı sınır tabaka kalınlığının azaldığı görülmüştür.

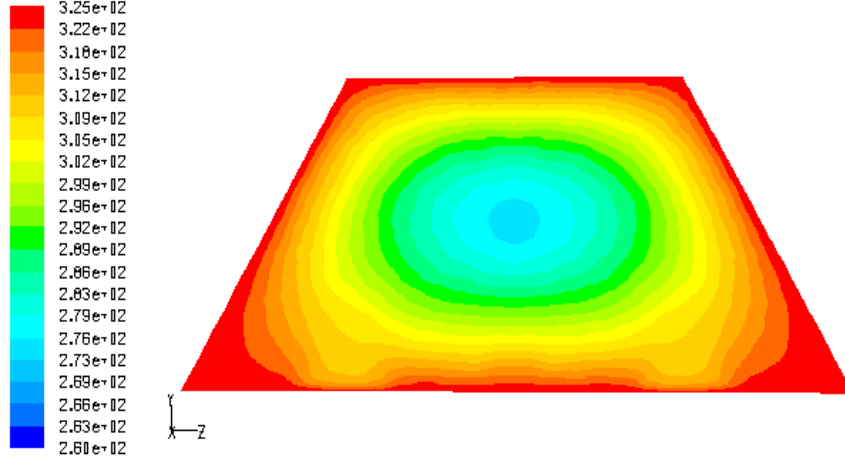
(a) $Re=100$ 

Şekil 4.66. Kanal içerisine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinde oluşturulan z-y düzlemindeki sıcaklık konturları

(b) $Re=200$ (c) $Re=300$ (d) $Re=400$ 

Şekil 4.66(Devam) Kanal içerisine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinde oluşturulan z-y düzlemindeki sıcaklık konturları

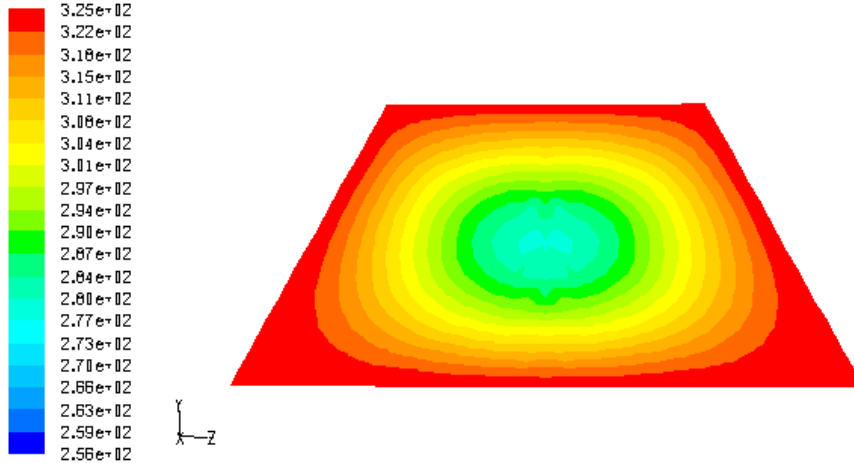
(e) Re=500



Şekil 4.66(Devam) Kanal içerisine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayıları için $x=0.4$ m kesitinde oluşturulan z-y düzlemindeki sıcaklık konturları

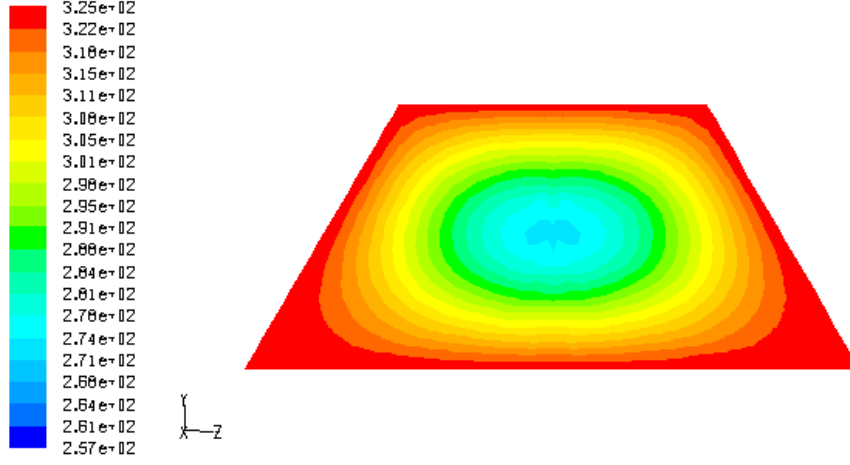
Şekil 4.67'de kanal çıkışından geçen düzlemdeki sıcaklık konturları Reynolds sayısının 100, 200, 300, 400 ve 500 değerleri için sırasıyla verilmiştir. Yamuk kesitli kanalın çıkış kesitinde kanal duvarlarında ve kanal köşelerinde artan Reynolds sayısı ile ısıl tabakanın azaldığı görülmektedir.

(a) Re=100

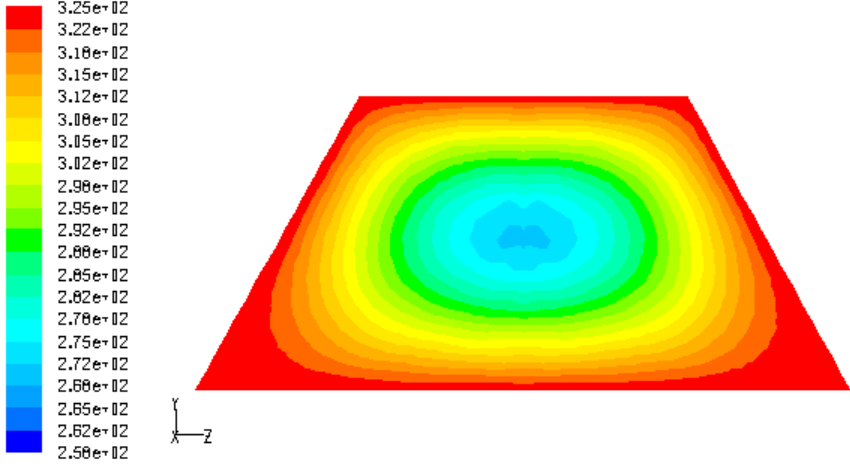


Şekil 4.67. Kanal içerisine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında çıkış kesitindeki sıcaklık konturları

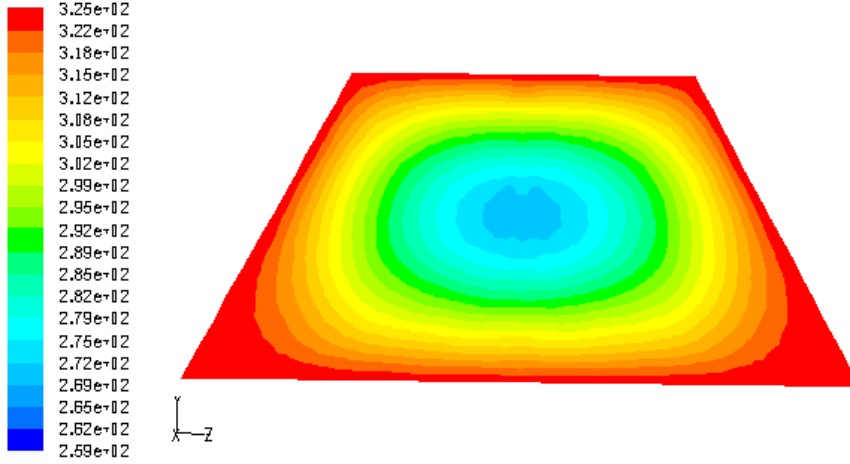
(b) Re=200



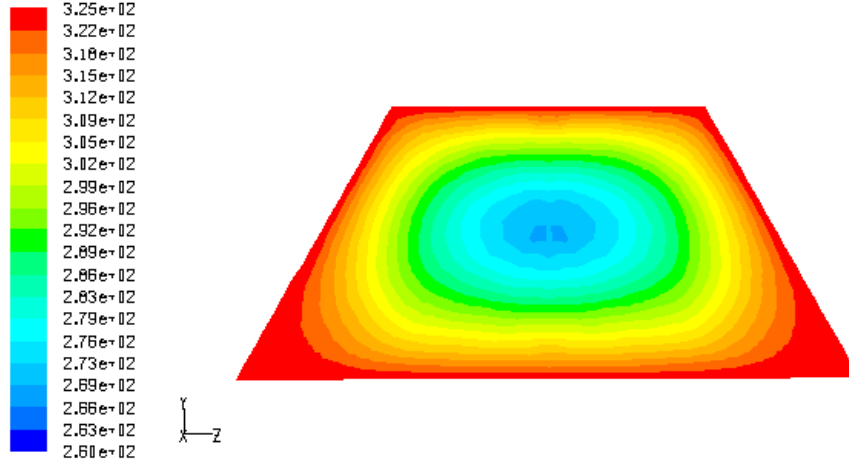
(c) Re=300



(d) Re=400



Şekil 4.67(Devam) Kanal içerisine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında çıkış kesitindeki sıcaklık konturları

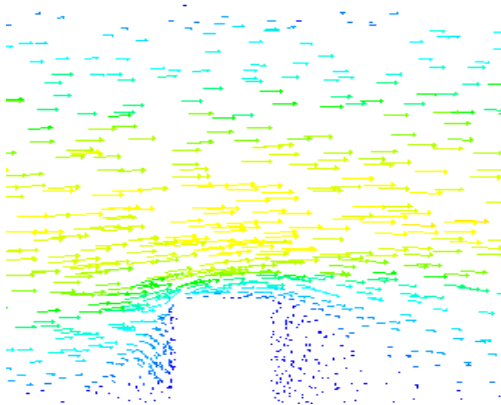
(e) $Re=500$ 

Şekil 4.67(Devam) Kanal içerisine $6 \times 6 \times 8.5$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda farklı Reynolds sayılarında çıkış kesitindeki sıcaklık konturları

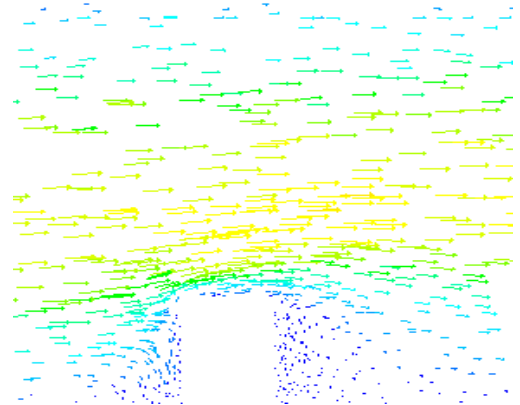
Blokların tam üzerinden geçen ($z=0.02$ m) x-y düzleminde farklı Reynolds sayıları için hız vektörleri Şekil 4.68'de verilmiştir. Kanal girişine yakın olan blok 1 numaralı blok, kanal çıkışına yakın olan blok ise 2 numaralı blok olarak adlandırılmıştır. Blokların arkasında oluşan düşük akışkan hızındaki bölge Reynolds sayının artmasıyla daha geniş alan kaplamaktadır. Hız sınır tabakası kalınlığı kanal üst duvarında daha geniş iken blokların bulunduğu kanal taban duvarında daha küçüktür.

(a) $Re=100$

1 no'lu blok



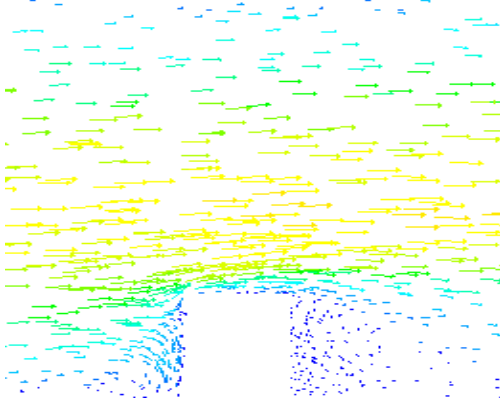
2 no'lu blok



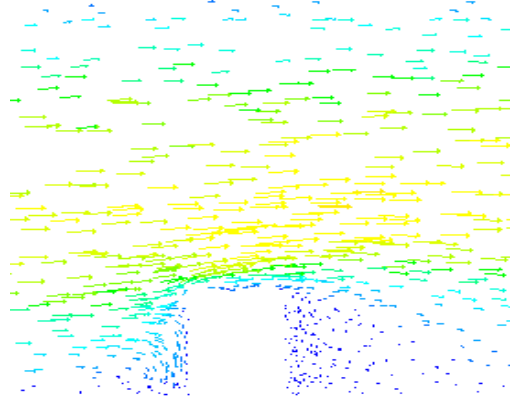
Şekil 4.68. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 8.5$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki hız vektörlerinin farklı Reynolds sayıları için görünümü

(b) Re=200

1 no'lu blok

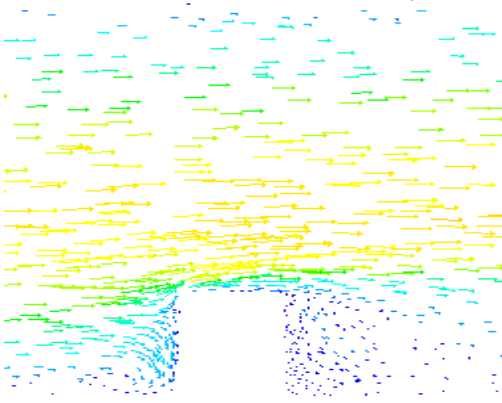


2 no'lu blok

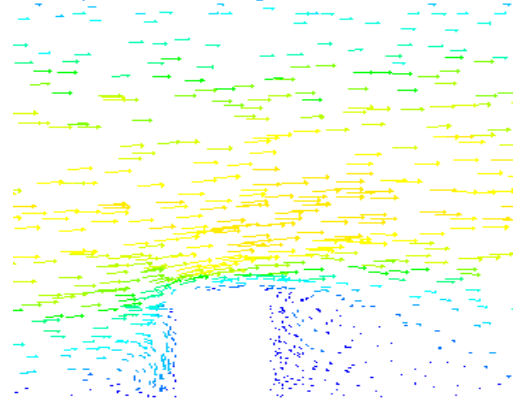


(c) Re=300

1 no'lu blok

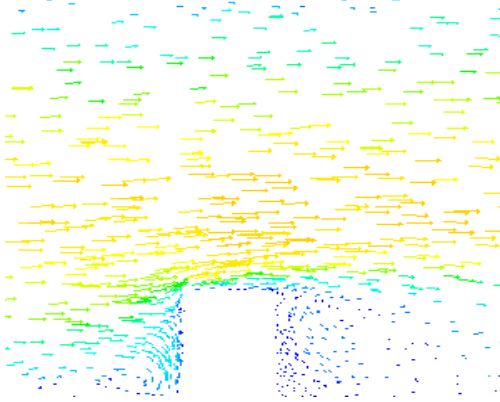


2 no'lu blok

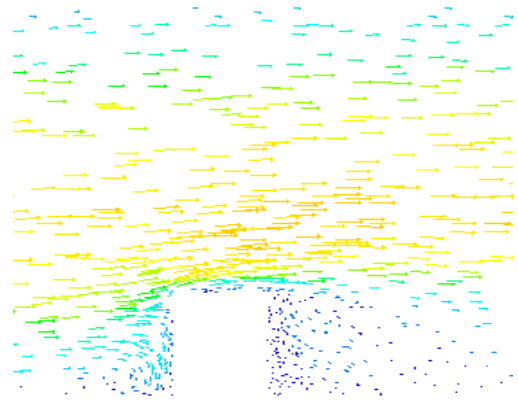


(d) Re=400

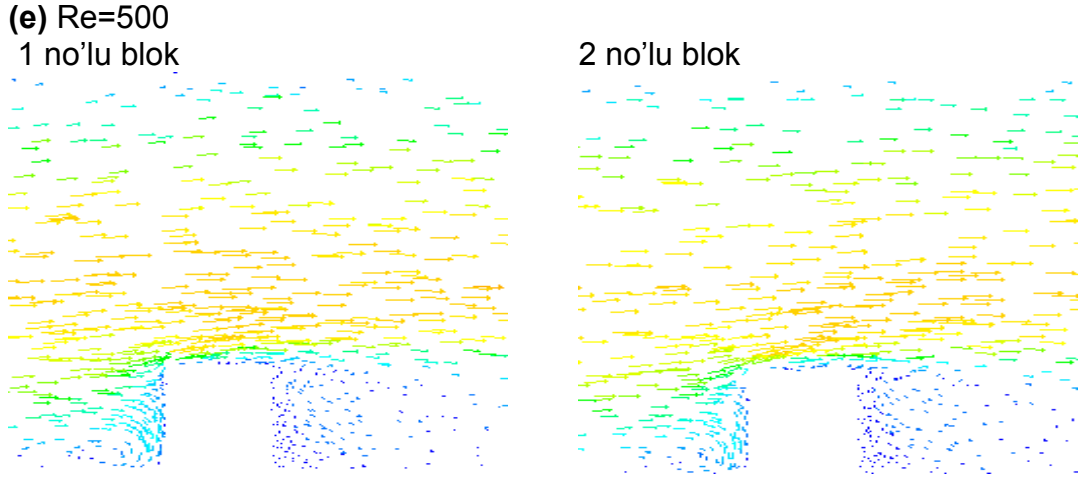
1 no'lu blok



2 no'lu blok

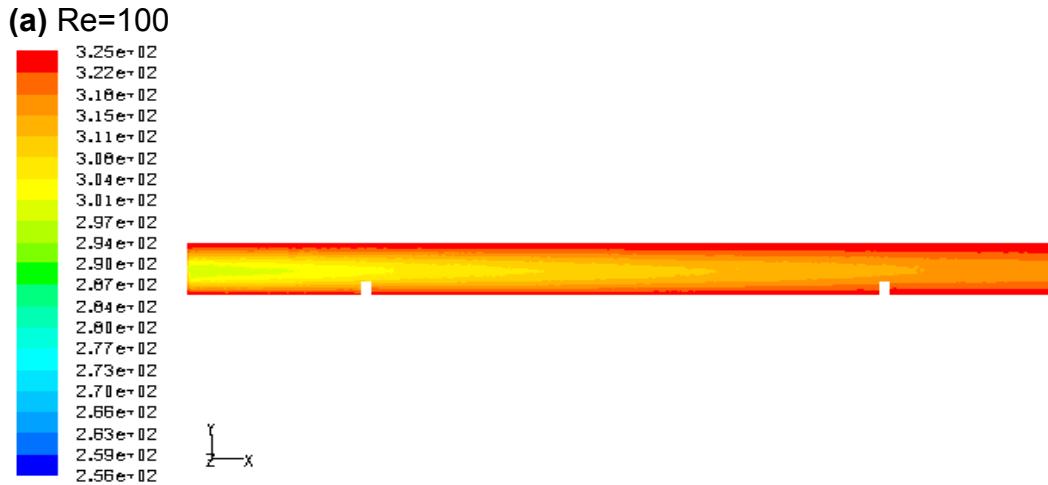


Şekil 4.68(Devam) Kanal içersine 6x6x8.5 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki hız vektörlerinin farklı Reynolds sayıları için görünümü



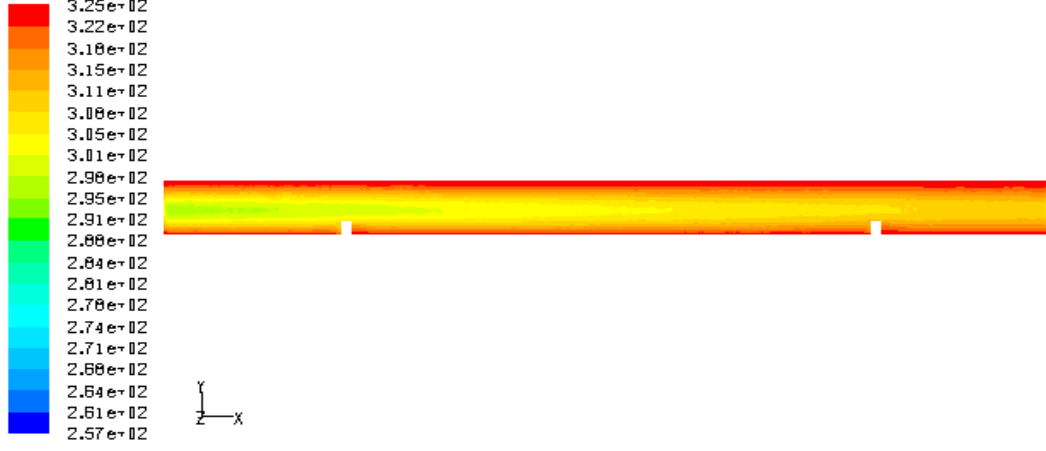
Şekil 4.68(Devam) Kanal içerisine $6 \times 6 \times 8.5$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki hız vektörlerinin farklı Reynolds sayıları için görünümü

Blokların tam üzerinden geçen ($z=0.02$ m) x-y düzleminde farklı Reynolds sayıları için sıcaklık konturları Şekil 4.69'da verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi akışkan düşük Reynolds sayısında kanal çıkışında daha yüksek sıcaklığa ulaşmaktadır.

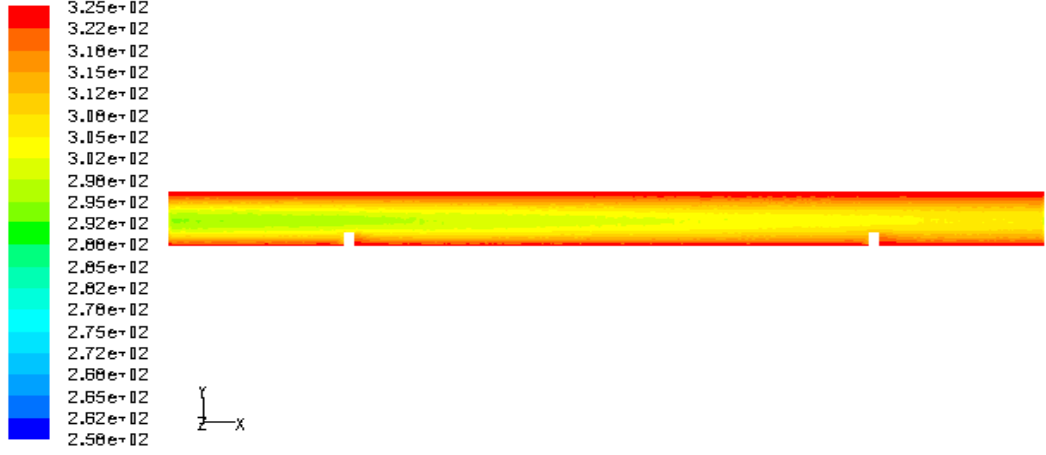


Şekil 4.69. Kanal içerisine $6 \times 6 \times 4$ mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki sıcaklık konturlarının farklı Reynolds sayıları için görünümü

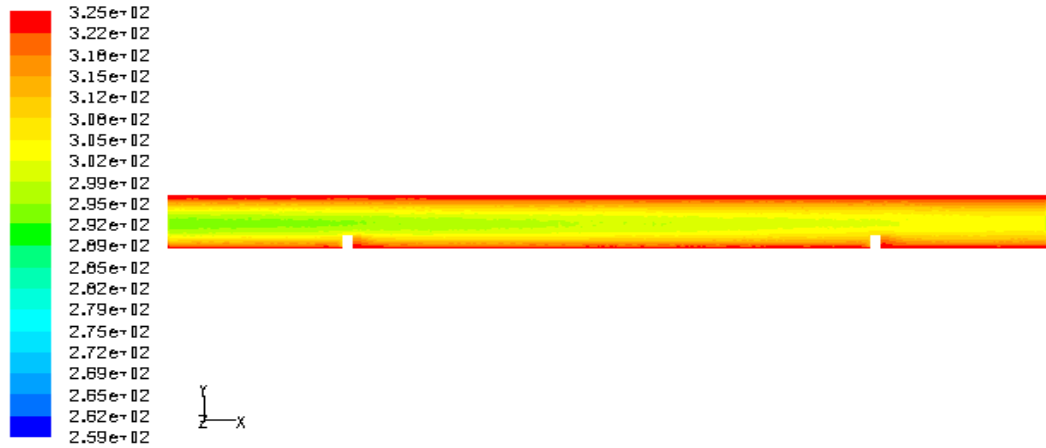
(b) Re=200



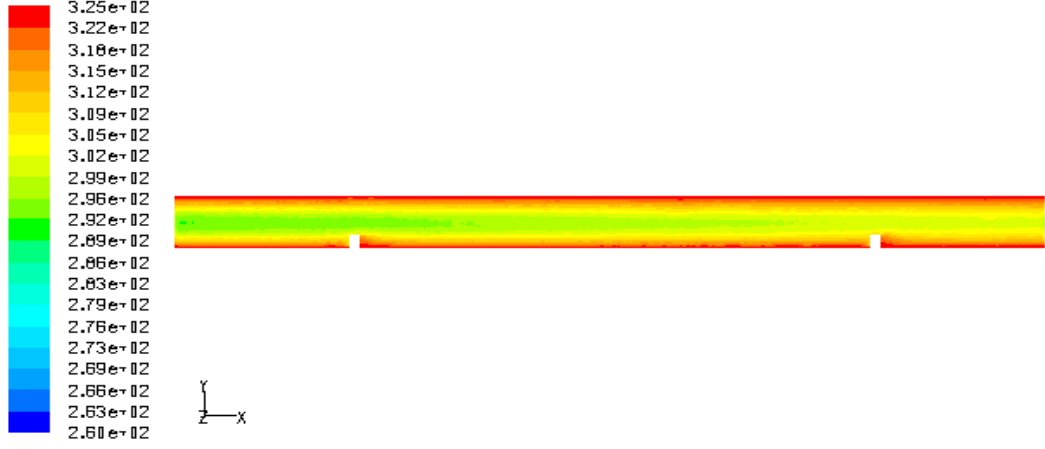
(c) Re=300



(d) Re=400



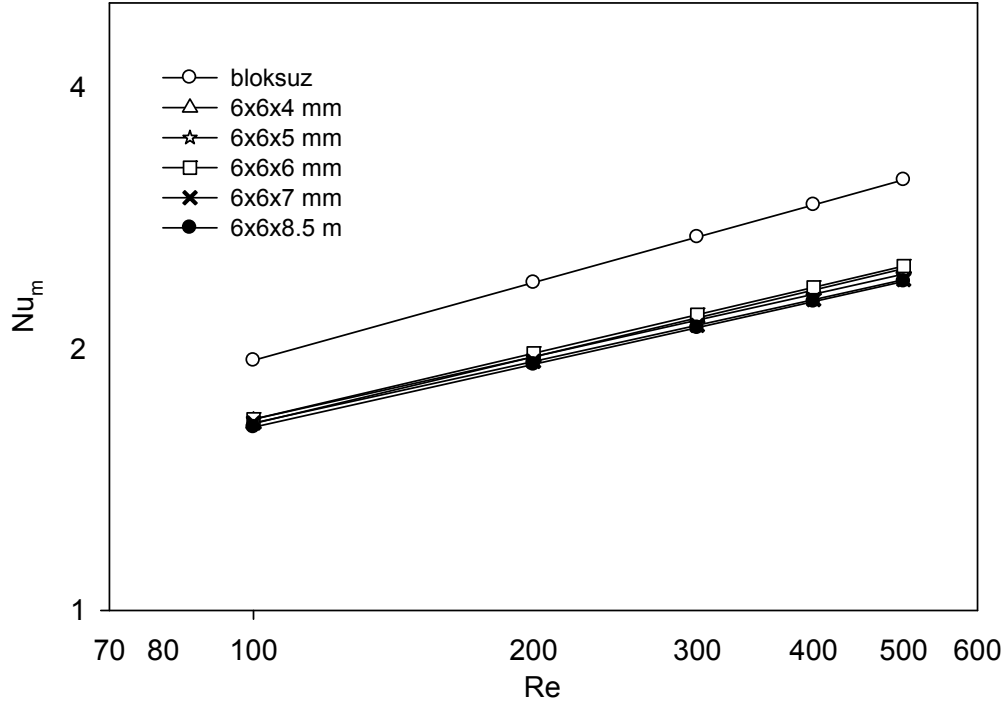
Şekil 4.69(Davam) Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda z=0.02 m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki sıcaklık konturlarının farklı Reynolds sayıları için görünümü

(e) $Re=500$ 

Şekil 4.69(Devam) Kanal içerisine 6x6x4 mm ölçüsündeki blokların yerleştirildiği durumda $z=0.02$ m mesafede x-y düzleminde bloklar etrafındaki sıcaklık konturlarının farklı Reynolds sayıları için görünümü

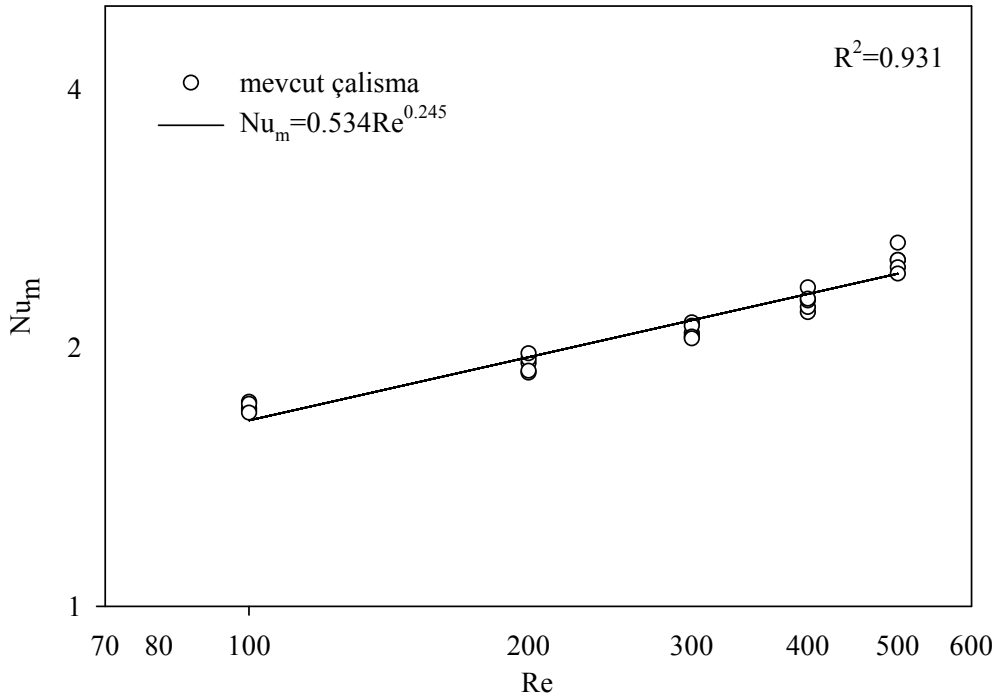
4.7. Blok Yüksekliğinin Etkisi

Değişik blok yükseklikleri için yapılan sayısal sonuçların kıyaslaması bu bölümde verilmiştir. Öncelikle kanal içerisine farklı yüksekliklerde yerleştirilen blokların ısı transferine etkisini görmek için ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi farklı kanat yükseklikleri için Şekil 4.70'de verilmiştir. Şekil 4.70'de kanalın bloksuz durumundaki Nusselt sayıları da verilmiştir. Görüldüğü üzere kanalın bloksuz durumundaki ısı transferi bloklu duruma göre daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 4.70. Bütün durumlar için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 4.70'den görüldüğü üzere kanal içerisine blok konulduğunda elde edilen ortalama Nusselt sayıları hemen hemen aynıdır. Bu nedenle bloklu çalışmalardan elde edilen sonuçlar tek bir denklem ve tek bir doğru ile ifade edilmeye çalışılmıştır. Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi Şekil 4.71'de verilmiştir. Şekilde içi boş dairesel sembol mevcut sayısal çalışma sonuçlarını göstermektedir. Çizilen doğru ise bu sayısal çalışma sonuçlarını temsil eden doğrudur.



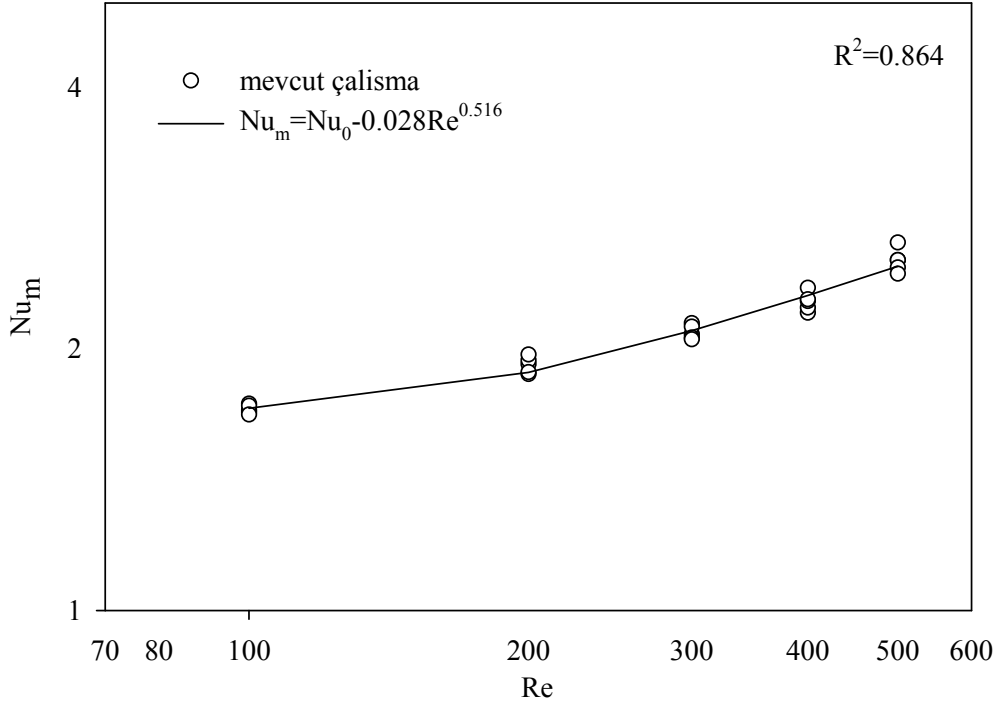
Şekil 4.71. Bloklı durum için ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi şu şeklide ifade edilmiştir:

$$Nu_m = 0.534 Re^{0.245} \quad (4.13)$$

Bu eşitlik Reynolds sayısının 100 ile 500, ve blok yüksekliğinin 4 ile 8.5 mm arasında olması durumunda geçerlidir. Bu eşitlik için korelasyon katsayısı $R=0.964$ ve R^2 belirleme katsayısı 0.931'dir.

Yapılan tüm mevcut sayısal çalışma sonuçları bloklı ve bloksuz durumu da kapsayacak şekilde Şekil 4.72'de verilmiştir.



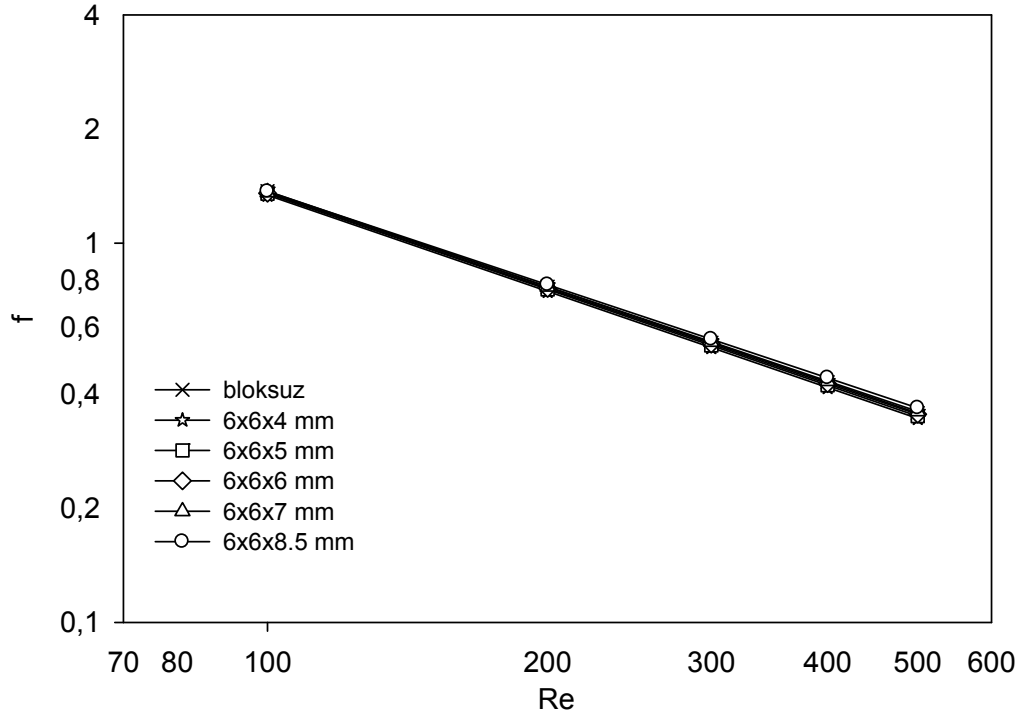
Şekil 4.72. Bloklı ve bloksuz durumları kapsayacak şekilde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi şu şekilde ifade edilmiştir:

$$Nu_m = Nu_0 - 0.028 Re^{0.516} \quad (4.14)$$

Burada Nu_0 bloksuz durumdaki Nusselt sayısıdır. Eş. 4.14 Reynolds sayısının 100 ile 500, ve blok yksekliğinin 0 ile 8.5 mm arasında olması durumunda geçerlidir. Bu eşitlik için korelasyon katsayısı $R=0.930$ ve R^2 belirleme katsayısı 0.864'dır.

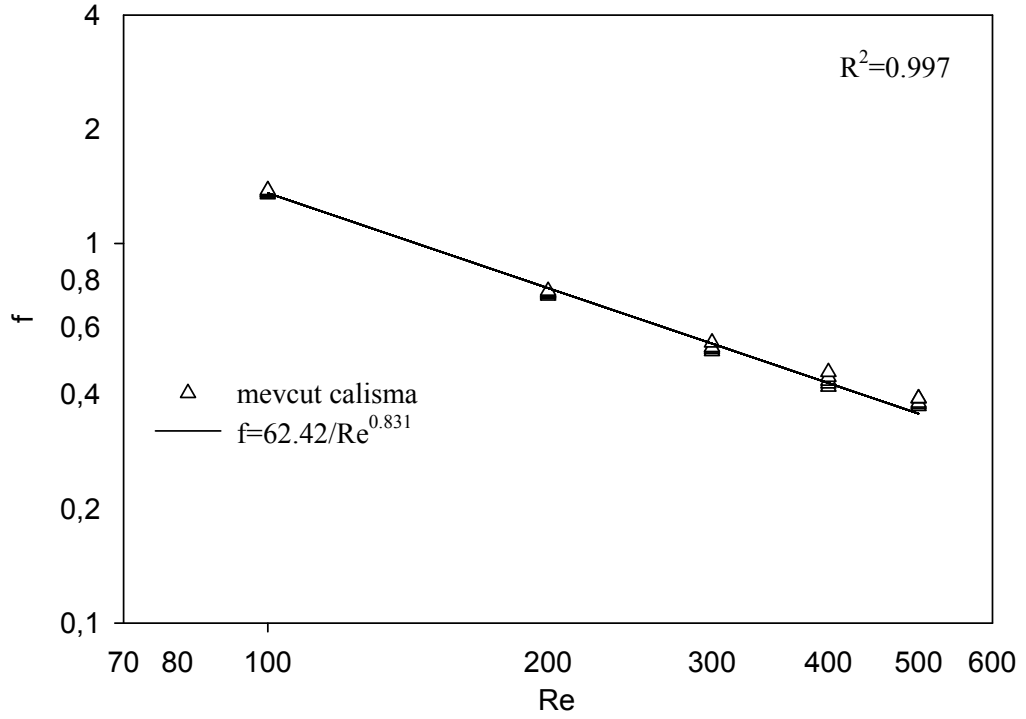
Kanal içerisine konulan blokların basınç kaybı üzerine etkisini görmek için farklı blok ykseklikleri için bulunan sürtünme faktörü sonuçları şekil 4.73'de verilmiştir. Ayrıca şekil üzerinde bloksuz kanal sonuçları da verilmiştir. Görüldüğü üzere artan Reynolds sayısı ile sürtünme faktörü azalmaktadır. Blokların ise periyodik akışta fazla bir etkisinin olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.73. Bütün durumlar için Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi

Benzer biçimde Şekil 4.73'den görüldüğü üzere kanal içerisine blok konulduğunda elde edilen Darcy sürtünme faktörü değerleri hemen hemen aynıdır. Bu nedenle bloklu çalışmalardan elde edilen sonuçlar tek bir denklem ve tek bir doğru ile ifade edilmiştir.

Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi Şekil 4.74'de verilmiştir. Şekilde içi boş üçgen sembol mevcut sayısal çalışma sonuçlarını göstermektedir. Çizilen doğru ise bu sayısal çalışma sonuçlarını temsil eden doğrudur.



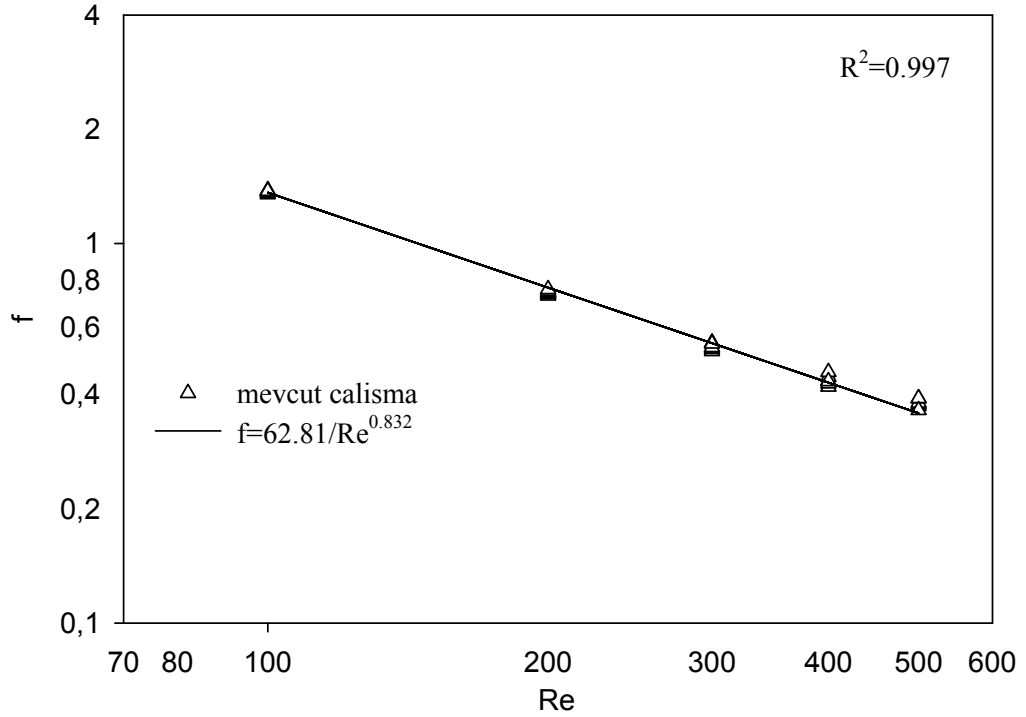
Şekil 4.74. Bloklı durum için ortalama Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değışimi

Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değışimi şu şekilde ifade edilmiştir:

$$f = 62.42 \text{ Re}^{0.831} \quad (4.15)$$

Bu eşitlik Reynolds sayısının 100 ile 500, ve blok yüksekliğinin 4 ile 8.5 mm arasında olması durumunda geçerlidir. Bu eşitlik için R^2 belirleme katsayısı 0.997'dir.

Yapılan tüm mevcut sayısal çalışma sonuçları bloklı ve bloksuz durumu da kapsayacak şekilde Şekil 4.75'de verilmiştir.



Şekil 4.75. Bloksuz ve bloklı durumları kapsayacak şekilde ortalama Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi

Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi şu şekilde ifade edilmiştir:

$$f = 62.42 \text{ Re}^{0.832} \quad (4.16)$$

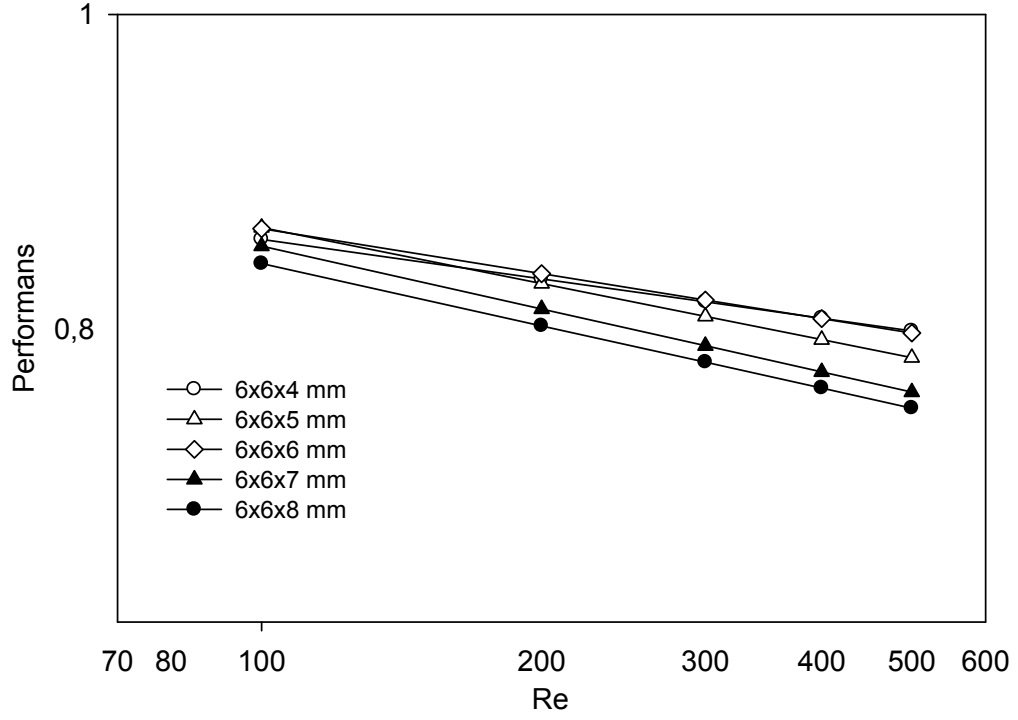
Bu eşitlik Reynolds sayısının 100 ile 500, ve blok yüksekliğinin 0 ile 8.5 mm arasında olması durumunda geçerlidir. Bu eşitlik için R^2 belirleme katsayısı 0.997'dir.

Blokların performansı şu şekilde belirlenir:

$$\eta = (\text{Nu}_m / \text{Nu}_{m,0}) / (f/f_0)^{1/3} \quad [30] \quad (4.17)$$

burada $\text{Nu}_{m,0}$ ve f_0 bloksuz durumdaki ortalama Nusselt sayısı ve ortalama sürtünme faktörü değerleridir. Nu_m ve f ise bloklı durumdaki ortalama Nusselt

sayısı ve ortalama sürtünme faktörü değerleridir. Blok performansının Reynolds sayısı ile değişimi farklı blok yükseklikleri için Şekil 4.76.'da verilmiştir.



Şekil 4.76. Farklı bloklar için blok performansının Reynolds sayısı ile değişimi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen bu çalışmada laminar akışta bir yüzeyine farklı yüksekliklerde bloklar yerleştirilmiş yamuk kesitli bir kanal içerisindeki akış ve ısı transferi karakteristikleri Reynolds sayısının 100 ile 500 arasında değişen değişik değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Isı transferi ve sürtünme kaybı sonuçları grafiksel olarak ve $Nu_m = Nu_0 - 0.028 Re^{0.516}$ ve $f = 62.42 Re^{0.832}$ biçiminde Bölüm 4'de ifade edilmiştir. Ayrıca kanal içerisindeki hız ve sıcaklık konturları ve hız vektörleri grafiksel olarak verilmiştir.

Beklenildiği üzere artan Reynolds sayısı ile ısı transferinin arttığı ve sürtünme faktörü değerinin ise azaldığı görülmüştür.

Kanalın bloksuz durumundaki ısı transferi bloklu duruma göre daha yüksek çıkmıştır. Diğer bir ifade ile söylemek gerekirse; laminar akışta kanal içerisine konulan blokların ısı transferi üzerinde bir etkisi olmamış, aksine ısı transferinde azalışa neden olmuştur. Bu azalış yaklaşık olarak %20 civarındadır. Değişik blok yüksekliklerinde yapılan sonuçların ise birbirine yakın olduğu gözlenmiştir.

Kanal içerisinde artan Reynolds sayısı ile sürtünme faktörü azalmaktadır. Blokların ise periyodik akışta fazla bir etkisi olmamıştır.

Reynolds sayısının artması ile blok performansı azalmıştır. Ayrıca, sabit Reynolds sayısında artan blok yüksekliği ile blok performansı azalmıştır.

Sonuç olarak yapılan çalışma içerisinde bloklar bulunan yamuk kesitli kanal için laminar akışta periyodik akış şartlarında sayısal olarak gerçekleştirilmiştir. Kanal içerisindeki bloklar 6x6 mm ölçülerinde taban kesit alanında olup farklı yüksekliktedir. Bu çalışmada değişik yüksekliğe sahip blokların akış ve ısı transferine etkisi incelenmiştir. Benzer bir çalışmada kanal içerisine farklı kesit şekline sahip bloklar yerleştirilerek, farklı kesitteki

blokların akış ve ısı transferine etkisi incelenebilir. Ayrıca, ısı değıştiricilerinde kullanılan farklı kesitli kanallar için benzer çalışmaların yapılması ve sonuçlarının değerlendirilmesinin faydalı olacağı inancındayım.

KAYNAKLAR

1. Shah, R.K., "Laminar flow friction and forced convection heat transfer in ducts of arbitrary geometry", ***International Journal of Heat Mass Transfer***, 18: 849-862 (1975).
2. Lawal, A., Mujumdar, A.S., "Developing flow and heat transfer to power law fluids in square, trapezoidal and pentagonal ducts", ***Int. Comm. Heat Mass Transfer***, 12: 23-31 (1985).
3. Aparecido, J.B., Cotta, R.M., "Fully developed laminar flow in trapezoidal ducts", ***9th Brazilian Congress Of Mechanical Engineering***, (1987).
4. Rokni, M., and Sunden, B., "3D numerical investigation of turbulent forced convection in wavy ducts with trapezoidal cross-section" ***International Journal for Numerical Methods for Heat & Fluid Flow***, 8(1): 118-141 (1998).
5. Sadasivam, R., Manglik, R.M., and Jog, M.A., "Fully developed forced convection through trapezoidal and hexagonal ducts", ***International Journal of Heat and Mass Transfer***, 42: 4321-4331 (1999).
6. Hwang, J.J., and Lui, C.C., "Detailed heat transfer characteristic comparison in straight and 90-deg turned trapezoidal ducts with pin-fin arrays", ***International Journal of Heat and Mass Transfer***, 42: 4005-4016 (1999).
7. Rokni, M., and Gatski, T.B., "Predicting turbulent convective heat transfer in three-dimensional ducts flows", ***NASA/TM-1999-209843*** (1999).
8. Leung, C.W., Chen, S., Wong, T.T., and Probert, S.D., "Forced convection and pressure drop in a horizontal triangular-sectional duct with V-grooved (i.e. orthogonal to the mean flow) inner surfaces", ***Applied Energy***, 66:199-211 (2000).
9. Chen, S., Chan, T.L., and Leung, C.W., "Numerical prediction of laminar forced convection in triangular ducts with unstructured triangular grid method", ***Numerical Heat Transfer, Part A***, 38:209-224 (2000).
10. Leung, C.W., Chan T.L., and Chen, S., "Forced convection and friction in triangular duct with uniformly spaced square ribs on inner surfaces", ***Heat and Mass Transfer***, 37:19-25 (2001).
11. Leung, C.W., Wong, T.T., and Probert, S.D., "Enhanced forced-convection from ribbed or machine-roughened inner surfaces within triangular ducts", ***Applied Energy***, 69:87-99 (2001).

12. Hwang, J.J., and Lu, C.C., "Detailed heat transfer distribution on the endwall of a trapezoidal duct with an in-line pin array", ***International Journal of Rotating Machinery***, 8(1): 35-43 (2002).
13. Wong, T.T., and Leung, C.W., "Forced convection augmentation of turbulent flow in a triangular duct with artificially roughened internal surfaces", ***Experimental Heat Transfer***, 15: 89-106 (2002).
14. Şara, O.N., "Performance analysis of rectangular ducts with staggered square pin fins", ***Energy Conversion and Management***, 44: 1787-1803 (2003).
15. Luo, D.D., Leung, C.W., and Chan, T.L., "Forced convection and flow friction characteristics of air-cooled horizontal equilateral triangular ducts with ribbed internal surfaces", ***International Journal of Heat and Mass Transfer***, 47: 5439-5450 (2004).
16. Tehrani, B.F., and Abadi, N.M., "Numerical analysis of laminar heat transfer in entrance region of a horizontal channel with transverse fins", ***Int. Comm. Heat Mass Transfer***, 31(2): 211-220 (2004).
17. Savino, S., Comini, G., and Nonino, C., "Effect of corner angle on convection enhancement in wavy ducts with trapezoidal cross-sections", ***International Journal For Numerical Methods In Fluids***, 44: 885-903 (2004).
18. Igarashi, T., Nakamura, H., and Fukuoka, T., "Pressure drop and heat transfer of arrays of in-line circular blocks on the wall of parallel channel", ***International Journal of Heat and Mass Transfer***, 47: 4547-4557 (2004).
19. Tanda, G., "Heat transfer in rectangular channels with transverse and V-shaped broken ribs", ***International Journal of Heat and Mass Transfer***, 47: 229-243 (2004).
20. Luo, D.D., Leung, C.W., Chan, T.L., and Wong, W.O., "Simulation of turbulent flow and forced convection in a triangular duct with internal ribbed surfaces", ***Numerical Heat Transfer, Part A***, 48: 447-459 (2005).
21. Manglik, R.M., Zhang, J., and Muley, A., "Low Reynolds number forced convection in three-dimensional wavy-plate-fin compact channels: fin density effects", ***International Journal of Heat and Mass Transfer***, 48:1439-1449 (2005).

- 22.Arslan, K., "Yamuk kesitli kanal içerisinde türbülanslı zorlanmış konveksiyon şartlarında ısı transferinin deneysel olarak incelenmesi", **Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2005).
- 23.Lu, B., and Jiang, P.X., "Experimental and numerical investigation of convection heat transfer in a rectangular channel with angled ribs", **Experimental Thermal and Fluid Science**, 30: 513-521 (2006).
- 24.Renkisizbulut, M., and Niazmand, H., "Laminar flow and heat transfer in the entrance region of trapezoidal channels with constant wall temperature", **Journal of Heat Transfer**, 128:63-74 (2006).
- 25.Turgut, O., Onur, N., Arslan, K., ve Günbey F., "Yamuk kesitli kanal içerisinde laminar akışta hidrodinamik ve ısı olarak gelişmekte olan ısı transferi probleminin sayısal olarak incelenmesi", **Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi**, 29(2): 59-66 (2009).
- 26.Onur, N., Turgut, O., Arslan, K., and Kurtul, Ö., "An experimental and three-dimensional numerical study on the convective heat transfer inside a trapezoidal duct under constant wall temperature", **Heat Mass Transfer**, 45:263-274 (2009).
- 27.Incropera, P.F., DeWitt, D.P., "Thermophysical properties of matter", Fundamentals of Heat and Mass Transfer 6th ed., **John Wiley & Sons**, New York, 941 (2007).
- 28.Shah, R.K., London, A.L., "Chapter 10", Laminar flow forced convection in ducts, **Academic Press Inc.**, New York,256-259 (1978).
- 29.Patankar, S.V., Liu, C.H., Sparrow, E.M., "Fully developed flow and heat transfer in ducts having streamwise-periodic variations of cross-sectional area", **Transactions of the ASME**, 99:180-186 (1977).
- 30.Yılmaz, M., "The effect of inlet flow baffles on heat transfer", **Int. Comm. Heat Mass Transfer**, 30(8): 1169-1178 (2003).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÜNBEY KIVRIK, Feyza
 Uyuşu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 19.08.1977 İstanbul
 Medeni hali : Evli
 e-mail : feyzagunbey@yahoo.co.uk

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine Mühendisliği Bölümü	2010
Lisans	Kocaeli Üniversitesi/ Makine Mühendisliği Bölümü	1999
Lise	Çamlıca Kız Lisesi	1994

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1999-2000	TEFAŞ A.Ş.	Ar-ge Mühendisi
2003-	Genelkurmay Başkanlığı	Makine Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Turgut, O., Onur, N., Arslan, K., ve Günbey F., "Yamuk kesitli kanal içerisinde laminar akışta hidrodinamik ve ısı olarak gelişmekte olan ısı transferi probleminin sayısal olarak incelenmesi", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 29(2): 59-66 (2009).