T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇERİSİNE ÜÇGEN İÇ ELEMANLAR YERLEŞTİRİLMİŞ KANALDA ISI TRANSFERİ VE AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Tezi Hazırlayan
Eyüphan MANAY

Tezi Yöneten
Doç. Dr. Veysel ÖZCEYHAN

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Temmuz 2010
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇERİSİNE ÜÇGEN İÇ ELEMANLAR YERLEŞTİRİLMİŞ KANALDA ISI TRANSFERİ VE AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Tezi Hazırlayan
Eyüphan MANAY

Tezi Yöneten
Doç. Dr. Veysel ÖZCEYHAN

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Bu proje TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından 107M508 kodlu proje ile desteklenmiştir

Temmuz 2010
KAYSERİ

Doç. Dr. Veysel ÖZCEYHAN danışmanlığında **Eyüphan MANAY** tarafından hazırlanan **"İçerisine Üçgen İç Elemanlar Yerleştirilmiş Kanalda Isı Transferi Ve Akış Karakteristiklerinin Deneysel Ve Sayısal Olarak İncelenmesi"** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

23.07.2010

JÜRİ:

Başkan : Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP

Üye : Prof. Dr. Sabahattin ÜNALAN

Üye : Doç. Dr. Veysel ÖZCEYHAN

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 27/07/2010 tarih ve 25-05 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

27/.07/.2010

T.C. ERCİYES ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ 1923

Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

"İçerisine Üçgen İç Elemanlar Yerleştirilmiş Kanalda Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi" konulu tez çalışmasının başından sonuna kadar her türlü maddi ve manevi destek ve yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam sayın Doç. Dr. Veysel ÖZCEYHAN'a tesekkür ederim.

Tez çalışmalarımın sağlıklı ve aksamadan yürütülebilmesi için her türlü kolaylığı sağlayan hocam sayın Prof. Dr. Ömer ÇOMAKLI'ya ve deneylerde kullanılan elemanların üretilmesinde desteğini ve zamanını esirgemeyen hocam Yrd. Doç. Dr. Eyüp Sabri TOPAL'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamın her aşamasında maddi ve manevi destek veren, sevgi ve şefkatlerinden mahrum bırakmayan anneme ve babama teşekkür ederim.

Ayrıca FBY-9-1012 no'lu yüksek lisans tez projesi ile çalışmama destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Birimine(BAP) teşekkür ederim.

İÇERİSİNE ÜÇGEN İÇ ELEMANLAR YERLEŞTİRİLMİŞ KANALDA ISI TRANSFERİ VE AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Eyüphan MANAY
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2010
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Veysel ÖZCEYHAN

ÖZET

Bu çalışmada kanal içerisine yerleştirilen eşkenar üçgenlerin ısı transferi ve akış karakteristikleri üzerine etkileri deneysel ve sayısal olarak incelendi. Parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği (PIV) ile deneysel, RNG k-ε metodu ile sayısal olarak yürütülen araştırmada Reynolds sayısı 5.000 den 10.000 e kadar değişti. Kapalı çevrimle çalışan deney sisteminde akışkan olarak su kullanıldı. Üçgen elemanların kenar uzunluklarının, blokaj oranlarının ve Reynolds sayının etkileri araştırıldı. Analizler sonucunda elde edilen verilerden hareketle hız dağılımları, hız vektörleri, akım çizgileri, Strouhal sayısı değişimleri sunuldu. Bu akış özellikleri 4 Hz frekansta 200 anlık görüntü ile elde edildi. Ayrıca, Sıcaklık kontürleri, yerel ve ortalama Nusselt sayısı değişimleri, yerel ve ortalama yüzey sürtünme katsayısı değişimleri ve ısı transferi iyileştirme oranları verildi.

Anahtar Kelimeler: Küt cisim, üst üste düzenleme, PIV (parçacık görüntülemeli hız ölçüm yöntemi), girdap kopması, Strouhal sayısı.

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER AND FLOW CHARACTERISTICS IN A CHANNEL EQUIPPED WITH TRIANGULAR INNER ELEMENTS

Eyüphan MANAY
Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
M.Sc. Thesis, July 2006
Thesis Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Veysel ÖZCEYHAN

ABSTRACT

In this study, the effects of equilateral triangular bodies replaced into the channel on heat transfer and flow characteristics were examined experimentally and numerically. In this research conducted experimentally with particle image velocimetry (PIV) technique and numerically with RNG k-ε method, Reynolds number varied from 5.000 to 10.000. In the experimental set up working as closed loop, water was used as working fluid. The effects of side length, blockage ratio and Reynolds number of triangular bodies were investigated. By the aid of the data obtained at the end of the analyses velocity distributions, velocity vectors, stream lines and Strouhal number variations were presented. These flow features were obtained by 200 instantaneous images at 4 Hz frequency. Furthermore, temperature contours, local and mean Nusselt number, local and mean surface friction factor changes and heat transfer enhancement ratios were given.

Key Words: Bluff body, side by side arrangement, PIV (particle image velocimetry), vortex shedding, Strouhal number.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY i
TEŞEKKÜR ii
ÖZET iii
ABSTRACT iv
SEMBOL LİSTESİ. vii
ŞEKİLLER LİSTESİ ix
1. BÖLÜM
GİRİŞ 1
2. BÖLÜM
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 6
2.1. Giriş 6
2.2. Önceki Çalışmalar 6
3. BÖLÜM
DENEY DÜZENEĞİ 18
3.1. Deney Düzeneğinin Tanıtılması 18
3.2. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği 22
4. BÖLÜM
SAYISAL YÖNTEM 25
4.1. Giriş 25
4.2. Renormalizasyon Grup k-ε Modeli (RNG k-ε Modeli). 26
4.2.1. Renormalizasyon Grup k-ε Modeli için Aktarım Denklemleri. 26
4.2.2. Efektif Viskozitenin Modellenmesi. 27
4.2.3. Ters Efektif Prandtl Sayılarının Hesaplanması. 28
4.2.4. Epsilon Denklemindeki R Terimi. 28
4.2.5. Model Sabitleri. 29
4.3. Akışkanın Fiziksel Özellikleri ve Sınır Şartları. 30
4.4. Problemin Sayısal Çözümünde Seçilen Yöntemler. 30
4.5. Yakınsama Kriterleri 30
4.6. Ağ Yapısı ve Bağımsızlığı 31

4.7. Kanal genişliğinin Isı Transferi ve Akış Karakteristikleri Üzerine Etkisi. 36
4.8. Isı Transferi ve Yüzey Sürtünme Katsayısı Hesabı. 38
5. BÖLÜM
DENEYSEL VE SAYISAL SONUÇLAR 41
5.1. Giriş 41
5.2. Sayısal ve Deneysel Hız Dağılımları 42
5.3. Hız Vektörleri ve Akım Çizgileri 82
5.4. Strouhal Sayıları 120
5.5. Sıcaklık Kontürleri 123
5.6. Isı Transferi ve Yüzey Sürtünme Katsayılarının Kanal Boyunca Değişimi . . 130
5.7. Isı Transferi İyileştirmesi 140
6. BÖLÜM
SONUÇLAR VE ÖNERİLER. 148
KAYNAKLAR 152
ÖZGEÇMİŞ 158

SEMBOL LİSTESİ

A	Kanal kesit alanı
B	Eşkenar üçgen cisimlerin kenar uzunluğu [mm]
C_f	Yüzey sürtünme katsayısı [= $\tau / 1/2\rho U_m^2$]
C_p	Akışkanın özgül ısısı [m^2/s^2.K]
D_h	Kanalın hidrolik çapı [m]
f	Kopma frekansı [1/s]
G_b	Kaldırma kuvvetine bağlı türbülans kinetik enerji
G_k	Ortalama hız grandyanlarına bağlı türbülans kinetik enerji
H	Kanal yüksekliği [m]
h	Isı transferi katsayısı (W/m^2K)
k	Isı iletim katsayısı [W/m.K]
L	Kanal uzunluğu [m]
$\dot{m}$	Akışanın kütlesel debisi [kg/s]
Nu	Nusselt sayısı [=hL/k]
Pr	Prandtl sayısı[=$\mu c_p/k$]
Re	Reynolds sayısı [=$U_m D_h/ \nu$]
St	Strouhal sayısı[=fs.B/ U_m]
T_b	Ortalama akışkan sıcaklığı [K]
U_m	Ortalama akışkan hızı [m/s]
Y_m	Düzensiz değişen genleşmenin etkisi
w	Kanal genişliği [m]
W	Üçgen cisimler arası mesafe(boşluk oranı) [mm]

α_k ,α_e	k ve ε sayıları için ters efektif Prandtl sayıları
ρ	Akışkan yoğunluğu [kg/m^3]
μ	Akışkanın dinamik viskozitesi [=Ns/m^2]
ν	Akışkanın kinematik viskozitesi [=m^2/s]
τ	Kayma gerilmesi [N/m^2]

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Su kanalının genel görüntüsü. 19

Şekil 3.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü. 20

Şekil 3.3. a) Deney kanalının yan ve üst görünüşü, b) test alanının şematik görünümü, (c) test bölgesinde hız dağılımlarının çizildiği doğrular. 21

Şekil 3.4. PIV sisteminin şematiği. 23

Şekil 4.1. Tek üçgenlere ait ağ yapıları, (a) B=15 mm, (b) B=20 mm, (c) B=25 mm. . . . 31

Şekil 4.2. B=15 mm durumu için üst üste üçgenlere ait ağ yapıları, (a) W/B=0, (b) W/B=0.5, (c) W/B=1. 32

Şekil 4.3. B=20 mm durumu için üst üste üçgenlere ait ağ yapıları, (a) W/B=0, (b) W/B=0.5, (c) W/B=1. 33

Şekil 4.4. B=25 mm durumu için üst üste üçgenlere ait ağ yapıları, (a) W/B=0, (b) W/B=0.5, (c) W/B=1. 34

Şekil 4.5. Farklı ağ yapılarına ait hız değişimi. 35

Şekil 4.5. Farklı ağ yapılarına ait hız değişimi. 36

Şekil 4. 7. B=20 mm d urumu için tek üçgene ait farklı kanal genişliklerinde, (a) alt yüzey boyunca sürtünme katsayısının değişimi, (b) alt yüzey boyunca Nusselt sayısının değişimi Şekil 4.5. Farklı ağ yapılarına ait hız değişimi. . . . 37

Şekil 5.1. B=15 mm Re=5.000 tek üçgene ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde 46

Şekil 5.2. B=15 mm Re=7.500 tek üçgene ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 47

Şekil 5.3. B=15 mm Re=10.000 tek üçgene ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 48

Şekil 5.4. B=20 mm Re=5.000 tek üçgene ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 49

Şekil 5.5. B=20 mm Re=7.500 tek üçgene ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 50

Şekil 5.6. B=20 mm Re=10.000 tek üçgene ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 51

Şekil 5.7. B=25 mm Re=5.000 tek üçgene ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 52

Şekil 5.8. B=25 mm Re=7.500 tek üçgene ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 53

Şekil 5.9. B=25 mm Re=10.000 tek üçgene ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 54

Şekil 5.10. B=15 mm W/B=0 Re=5.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 55

Şekil 5.11. B=15 mm W/B=0 Re=7.500 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 56

Şekil 5.12. B=15 mm W/B=0 Re=10.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 57

Şekil 5.13. B=15 mm W/B=0.5 Re=5.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 58

Şekil 5.14. B=15 mm W/B=0.5 Re=7.500 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 59

Şekil 5.15. B=15 mm W/B=0.5 Re=10.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 60

Şekil 5.16. B=15 mm W/B=1 Re=5.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 61

Şekil 5.17. B=15 mm W/B=1 Re=7.500 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 62

Şekil 5.18. B=15 mm W/B=1 Re=10.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 63

Şekil 5.19. B=20 mm W/B=0 Re=5.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 64

Şekil 5.20. B=20 mm W/B=0 Re=7.500 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 65

Şekil 5.21. B=20 mm W/B=0 Re=10.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 66

Şekil 5.22. B=20 mm W/B=0.5 Re=5.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 67

Şekil 5.23. B=20 mm W/B=0.5 Re=7.500 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 68

Şekil 5.24. B=20 mm W/B=0.5 Re=10.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 69

Şekil 5.25. B=20 mm W/B=1 Re=5.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 70

Şekil 5.26. B=20 mm W/B=1 Re=7.500 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 71

Şekil 5.27. B=20 mm W/B=1 Re=10.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 72

Şekil 5.28. B=25 mm W/B=0 Re=5.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 73

Şekil 5.29. B=25 mm W/B=0 Re=7.500 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 74

Şekil 5.30. B=25 mm W/B=0 Re=10.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 75

Şekil 5.31. B=25 mm W/B=0.5 Re=5.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 76

Şekil 5.32. B=25 mm W/B=0.5 Re=7.500 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 77

Şekil 5.33. B=25 mm W/B=0.5 Re=10.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 78

Şekil 5.34. B=25 mm W/B=1 Re=5.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 79

Şekil 5.35. B=25 mm W/B=1 Re=7.500 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 80

Şekil 5.36. B=25 mm W/B=1 Re=10.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde. 81

Şekil 5.37. B=15 mm Re=5.000 tek üçgene ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 84

Şekil 5.38. B=15 mm Re=7.500 tek üçgene ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 85

Şekil 5.39. B=15 mm Re=10.000 tek üçgene ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 86

Şekil 5.40. B=20 mm Re=5.000 tek üçgene ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 87

Şekil 5.41. B=20 mm Re=7.500 tek üçgene ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 88

Şekil 5.42. B=20 mm Re=10.000 tek üçgene ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 89

Şekil 5.43. B=25 mm Re=5.000 tek üçgene ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 90

Şekil 5.44. B=25 mm Re=7.500 tek üçgene ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 91

Şekil 5.45. B=25 mm Re=10.000 tek üçgene ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 92

Şekil 5.46. B=15 mm W/B=0 durumu için Re=5.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 93

Şekil 5.47. B=15 mm W/B=0 durumu için Re=7.500'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 94

Şekil 5.48. B=15 mm W/B=0 durumu için Re=10.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 95

Şekil 5.49. B=15 mm W/B=0.5 durumu için Re=5.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 96

Şekil 5.50. B=15 mm W/B=0.5 durumu için Re=7.500'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 97

Şekil 5.51. B=15 mm W/B=0.5 durumu için Re=10.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 98

Şekil 5.52. B=15 mm W/B=1 durumu için Re=5.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 99

Şekil 5.53. B=15 mm W/B=1 durumu için Re=7.500'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 100

Şekil 5.54. B=15 mm W/B=1 durumu için Re=10.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 101

Şekil 5.55. B=20 mm W/B=0 durumu için Re=5.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 102

Şekil 5.56. B=20 mm W/B=0 durumu için Re=7.5000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 103

Şekil 5.57. B=20 mm W/B=0 durumu için Re=10.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 104

Şekil 5.58. B=20 mm W/B=0.5 durumu için Re=5.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 105

Şekil 5.59. B=20 mm W/B=0.5 durumu için Re=7.500'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 106

Şekil 5.60. B=20 mm W/B=0.5 durumu için Re=10.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 107

Şekil 5.61. B=20 mm W/B=1 durumu için Re=5.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 108

Şekil 5.62. B=20 mm W/B=1 durumu için Re=7.500'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 109

Şekil 5.63. B=20 mm W/B=1 durumu için Re=10.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 110

Şekil 5.64. B=25 mm W/B=0 durumu için Re=5.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 111

Şekil 5.65. B=25 mm W/B=0 durumu için Re=7.500'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 112

Şekil 5.66. B=25 mm W/B=0 durumu için Re=10.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 113

Şekil 5.67. B=25 mm W/B=0.5 durumu için Re=5.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 114

Şekil 5.68. B=25 mm W/B=0.5 durumu için Re=7.500'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 115

Şekil 5.69. B=25 mm W/B=0.5 durumu için Re=10.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 116

Şekil 5.70. B=25 mm W/B=1 durumu için Re=5.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 117

Şekil 5.71. B=25 mm W/B=1 durumu için Re=7.500'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 118

Şekil 5.72. B=25 mm W/B=1 durumu için Re=10.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri. 119

Şekil 5.73. Tek üçgenlere ait Strouhal sayısının Reynolds sayısıyla değişimi. 121

Şekil 5.74. B=15 mm üst üste üçgenlere ait Strouhal sayısının Reynolds sayısıyla değişimi. 121

Şekil 5.75. B=20 mm üst üste üçgenlere ait Strouhal sayısının Reynolds sayısıyla değişimi. 122

Şekil 5.76. B=25 mm üst üste üçgenlere ait Strouhal sayısının Reynolds sayısıyla değişimi. 122

Şekil 5.77. B=15 mm tek üçgene ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta). 124

Şekil 5.78. B=20 mm tek üçgene ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta) 124

Şekil 5.79. B=25 mm tek üçgene ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta) 125

Şekil 5.80. B=15 mm W/B=0 durumu için üst üste üçgenlere ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta). 125

Şekil 5.81. B=15 mm W/B=0.5 durumu için üst üste üçgenlere ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta) 126

Şekil 5.82. B=15 mm W/B=1 durumu için üst üste üçgenlere ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta) 126

Şekil 5.83. B=20 mm W/B=0 durumu için üst üste üçgenlere ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta) 127

Şekil 5.84. B=20 mm W/B=0.5 durumu için üst üste üçgenlere ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta) 127

Şekil 5.85. B=20 mm W/B=1 durumu için üst üste üçgenlere ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta) 128

Şekil 5.86. B=25 mm W/B=0 durumu için üst üste üçgenlere ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta) 128

Şekil 5.87. B=25 mm W/B=0.5 durumu için üst üste üçgenlere ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta) 129

Şekil 5.88. B=25 mm W/B=0.5 durumu için üst üste üçgenlere ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta) 129

Şekil 5.89. Tek üçgenler için kanal alt duvarı boyunca Nusselt sayısı değişimleri, (a) B=15 mm, (b) B=20 mm, (c) B=25 mm. 132

Şekil 5.90. B=15 mm durumunda üst üste üçgenler için kanal alt duvarı boyunca Nusselt sayısı değişimleri, (a) W/B=0, (b) W/B=0.5, (c) W/B=1. 133

Şekil 5.91. B=20 mm durumunda üst üste üçgenler için kanal alt duvarı boyunca Nusselt sayısı değişimleri, (a) W/B=0, (b) W/B=0.5, (c) W/B=1. 134

Şekil 5.92. B=25 mm durumunda üst üste üçgenler için kanal alt duvarı boyunca Nusselt sayısı değişimleri, (a) W/B=0, (b) W/B=0.5, (c) W/B=1. 135

Şekil 5.93. Tek üçgenler için kanal alt duvarı boyunca yüzey sürtünme katsayısı değişimleri, (a) B=15 mm, (b) B=20 mm, (c) B=25 mm. 136

Şekil 5.94. B=15 mm durumunda üst üste üçgenler için kanal alt duvarı boyunca yüzey sürtünme katsayısı değişimleri, (a) W/B=0, (b) W/B=0.5, (c) W/B=1. 137

Şekil 5.95. B=20 mm durumunda üst üste üçgenler için kanal alt duvarı boyunca yüzey sürtünme katsayısı değişimleri, (a) W/B=0, (b) W/B=0.5, (c) W/B=1. 138

Şekil 5.96. B=25 mm durumunda üst üste üçgenler için kanal alt duvarı boyunca yüzey sürtünme katsayısı değişimleri, (a) W/B=0, (b) W/B=0.5, (c) W/B=1. 139

Şekil 5. 97. Tek üçgenlere ait ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısıyla değişimi. . 141

Şekil 5. 98. B=15 mm durumu için üst üste üçgenlere ait ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısıyla değişimi. 141

Şekil 5. 99. B=20 mm durumu için üst üste üçgenlere ait ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısıyla değişimi. 142

Şekil 5. 100. B=25 mm durumu için üst üste üçgenlere ait ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısıyla değişimi. 142

Şekil 5. 101. Tek üçgenlere ait ortalama yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısıyla değişimi. 143

Şekil 5. 102. B=15 mm durumu için üst üste üçgenlere ait ortalama yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısıyla değişimi. 143

Şekil 5. 103. B=20 mm durumu için üst üste üçgenlere ait ortalama yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısıyla değişimi. 144

Şekil 5. 104. B=25 mm durumu için üst üste üçgenlere ait ortalama yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısıyla değişimi. 144

Şekil 5.105. Tek üçgenlerde ısı transferi iyileştirmesinin Reynolds sayısıyla değişimi. . 146

Şekil 5.106. B=15 mm üst üste üçgenlerde ısı transferi iyileştirmesinin Reynolds sayısıyla değişimi. 146

Şekil 5.107. B=20 mm üst üste üçgenlerde ısı transferi iyileştirmesinin Reynolds sayısıyla değişimi. 147

Şekil 5.108. B=25 mm üst üste üçgenlerde ısı transferi iyileştirmesinin Reynolds sayısıyla değişimi. 147

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Mühendislik uygulamalarında akış olayları dolayısıyla akışkanlar mekaniği önemli bir yer tutmaktadır. Geçmişten bugüne kadar artarak süregelen bu önem akışla ilgili teorilerin henüz tamamen açıklanamamış olmasından kaynaklanmaktadır. Başka bir ifadeyle, boru/kanal içerisindeki, düzlem/yüzey üzerindeki ya da bir cisim etrafındaki akışa ait olayların fiziğinin anlaşılamamış olmasından ve akışa ait bir takım parametrelerin pratikte nasıl etkiler meydana getirdiklerinin tam olarak bilinememesinden dolayı herhangi ortamdaki akış ve bu akışa ait olaylar araştırmacıların ilgi odağı olmuş ve olmaya devam etmektedir.

Yukarıdaki paragrafta bahsedilen akış mekanizmalarının ötesinde bir cisim etrafındaki akış diğer araştırma konularına göre daha karmaşıktır. Artan karmaşıklıkla beraber, incelenen akış olaylarına ait karanlık noktaların da sayısı artmaktadır. Akış alanına yerleştirilen cisimler etrafındaki akış incelenen cisim, akış ortamı, akım parametreleri gibi birçok farklı açıdan ele alınmaktadır. Akış alanına yerleştirilen cisimden kastedilen şey aslında cisim etrafında akışkan hareketinin olmasıdır. Duran bircimsin etrafından hareketli akışkanın geçmesi, bir nesnenin akışkan bir ortamda hareket etmesi ya da hem ortamın hem de cismin hareketinin birlikteliği ile cismin akış alanına yerleştirildiği kabul edilir. Suda hareket eden bir deniz altı, havada belli bir hızla hareket eden uçak, yolda hareket eden bir otomobil, etrafından akan suyun geçtiği köprü ayakları, hava akımına maruz kalan yapılar (binalar, köprüler, silolar v.b.) akış alanına yerleştirilmiş cisimlerden kastedilenin ne olduğunu anlamada yardımcı olabilecek başlıca örneklerdir. Bahsi geçen nesneler, ihmal edilemez

büyüklükte en kesite sahiptirler, dolayısıyla bu cisimlere çarpan akışkan cismin yüzeyini tamamen süpüremez ve bir noktadan (ayrılma noktası) sonra yüzeyden ayrılırlar. Cismin hemen arkasında değil de daha ileride bir yerde birleşirler. Ancak, bu birleşme gerçekleşinceye kadar iz bölgesi oluştururlar ki bu yüzden bu cisimler (akış alanına yerleştirilen cisimler) küt cisimler olarak adlandırılırlar.

Çok geniş bir araştırma ve uygulama alanı olan küt cisimlerin izah edilmesinde farklı olmakla beraber aslında aynı vurguyu yapan ve araştırmacıları aynı yoruma sevk eden bir takım açıklamalar mevcuttur. Üçgen, dörtgen, poligonal, eliptik ya da dairesel v.b. cisimler akış ortamına yerleştirildiklerinde arka bölgelerinde kararlı ya da kararsız kopmalar meydana gelir ki bu cisimlere küt cisim adı verilir [6]. Akış ortamına yerleştirilen ve ihmal edilemez büyüklükte alanı (akış alanına dik kesit alan) olan ve akışkanın yüzeyden ayrılmasına neden olan nesneler küt cisim olarak adlandırılabilir. Yorulma araştırmacılar ve mühendisler için sistemlerin ve/veya malzemelerin ömürlerini tayin eden önemli etmenlerden biridir. Hareketli ya da hareketsiz sistemlerde sistem komponentlerinin titreşime maruz kalması bu parçaların ömrünü azaltırken titreşimle birlikte ortaya çıkan gürültü ise rahatsız edici bir unsur haline gelir. Akışkanın az önce tanımı yapılan küt cisimlere akışkanın çarpması sonucu yüzeyden ayrılmalar neticesinde cisimlerin arkasında vorteks kopmaları oluşur. Akım sürekli olduğundan ayrılmalar sonucu meydana gelen periyodik kopmalar ise akış ortamında bulunan cisimle bütünleşik bulunan sistemlerin yorulmasına ve buna bağlı olarak ilgili sistemin ömrünün azalmasına yol açar. Vorteks şekilleri ve vorteks kopmaları titreşim ve gürültüden dolayı küt cisimlerin akışkanlar dinamiği açısından son derece büyük öneme sahiptir [8]. Arkasında oluşan salınımlardan dolayı iz bölgesi kararlı olmayan ve sürekli değişen cisimler küt cisim olarak kabul edilirler [9]. Sınır tabaka teorisini gerçekleştirerek akışkanı yüzeyden ayrılmaya maruz bırakmak suretiyle dik kesit alanı büyük olan cisimlere küt cisim denir. Yüzeyden ayrılma, akım çizgilerinin süreksiz yüzeyleri takip etmesi neticesinde oluşan akış formasyonudur ve kendi kesitiyle orantılı büyüklükte iz bölgesi oluşturur [7].

Küt cisim akışkanlar dinamiğinde geometri kadar akım hızı da çok önemli parametrelerden biridir. Ancak akışkanlar mekaniğinde ve dinamiğinde hız yerine atalet kuvvetlerin viskoz

kuvvetlere oranı olarak tanımlanan ve eşitlik (1) de verilen Reynolds sayısı kullanılır. Reynolds sayısı içerisine küt cisim yerleştirilmiş akışlarda akımın şeklini, akımın özelliğini büyük ölçüde tayin eden boyutsuz parametredir.

$$Re=U.D/v \quad (1)$$

Eşitlik 1 de, U (m/s) akışın girişteki hız değerini, D (m) kanalın eşdeğer hidrolik çapını ve v ise akışkanın kinematik viskozitesidir (m^2/s). Akışkanlar dinamiğinde Reynolds sayısı kadar önemli ve küt cisim akışlarında cisim arkasında akışkanın yüzeyden ayrılması ve kararlı ya da kararsız vorteksler oluşması sırasında meydana gelen kopmaların frekansını ifade eden boyutsuz bir diğer sayı da Strouhal sayısıdır. Eşitlik 2'de verilen boyutsuz Strouhal sayısındaki f (Hz) kopma frekansı, B (mm) eşkenar üçgen elemanın bir kenarını ve U (m/s) akışın girişteki hız değerini simgelemektedir.

$$St=f.B/U \quad (2)$$

Akımın özellikleri sadece Reynolds sayısı ya da kullanılan cisimlerin geometrilerine değil yerleştirildikleri alanda birbirlerini ne kadar etkilediklerine de bağlıdır. Başka bir ifadeyle, kanal ya da boru içerisindeki bir cismin aynı kanal ya da boru içerisine yerleştirilmiş aynı ya da farklı geometrili bir diğer cismi ya da cisimleri nasıl ve ne kadar etkilediği yerleşim düzenleri ile ilgilidir. Şayet cisimler birbirlerine göre uzak iseler bu cisimler birbirlerini etkilemeyecek yeteri kadar yakın iseler bu cisimler etrafındaki akışlar birbirinden etkilenecektir. Aynı akış alanındaki aynı ya da farklı geometrili cisimler kanal ekseni boyunca ağırlık merkezleri aynı hizada olacak biçimde yerleştirilirseler bu cisimlerin ardışık, yatayda ve düşeyde aynı hizada olmayacak şekilde yerleştirilmiş ise bu cisimlerin zikzak ya da çapraz, ağırlık merkezleri düşeyde aynı hizaya gelecek biçimde yerleştirilmiş ise bu cisimlerin de yan yana konumlandırıldıkları söylenir ve çalışmalarda aynı isimle anılırlar. Küt cisimler üzerine yapılan çalışmalarda cisim etrafındaki ve art iz bölgesindeki akıma ve akım özelliklerine farklı parametrelerin etkileri araştırılır. Literatürdeki çalışmalarda öncelikle cisimlerin farklı geometrilerinin etkileri (kare, dikdörtegen, üçgen, daire v.s. kesitli şekiller), farklı geometrili bu cisimlerin boyutlarının değişmesi halinde etkilerin nasıl değiştiği, önceki paragraflarda değinildiği gibi Reynolds sayısının

değişimiyle nasıl değişimlerin meydana geldiği araştırılır. Bunların yanı sıra yukarıda değinilen yerleşim düzenlerinin (ardışık, çapraz ya da zikzak ve yan yana), çapraz konfügrasyonlarda cisimlerin birbirlerine göre yatay ve düşey düzlemleri arasındaki açıların ve her yerleşim düzeni için cisimlerin aralarındaki yatay ve/veya boşluk oranlarının akış karakteristikleri üzerindeki etkileri de araştırılmaktadır. Ayrıca, farklı geometriye sahip cisimler kombineli bir biçimde farklı yerleşim düzenleri içinde kullanılabilmektedir [10].

Küt cisimler kullanımıyla sadece akış karakteristiklerinin değişimi sağlanmaz. Ayrıca ısı transferi artırımında da bir yöntem olarak kullanılmakta ve mevcut çalışmalarda ısı transferinde küt cisim kullanımıyla meydana gelen değişim ve bu değişimin miktarı da araştırılır. Genel olarak ısı transferini iyileştirme yöntemleri aktif ve pasif yöntemler olarak ikiye ayrılmıştır. Temel anlamda pasif yöntemler yardımıyla ısı transferi artırılırken dışarıdan enerji verilmez ancak mevcut sistemin geometrik parametreleri ısı transferini artıracak şekilde modifiye edilir. Bu işlemlerden sık kullanılanları; yüzeylerin genişletilmesi, yüzeylerin işlenmesi, sisteme dönmeli akış elemanlarının yerleştirilmesi v.b. dir. Ancak aktif yöntemlerde ise amaç yüzey titreşimi, emme veya basma gibi ilave enerjiler vererek ısı transferinin artırılmasıdır. Yatırım ve işletme maliyetlerinin yanı sıra titreşim veya akustik gürültü gibi problemler sebebiyle aktif yöntemlerle ısı transferini arttırma pek ilgi görmemiş, daha çok elektronik sistemlerin soğutulmasında, havalı güneş kolektörlerinde, ısı geri kazanım ünitelerinde ve binalarda kullanılmakta olan pasif yöntemler üzerindeki çalışmalar yoğunlaşmıştır. Pasif yöntemle ısı transferinin arttırılması işlemlerinin amacı türbülanslı akışta laminer alt tabaka kalınlığının parçalanması veya tamamen yok edilmesidir. Çünkü akış ortamına eleman ya da elemanlar eklenmesi laminar tabakaların parçalanmasına neden olmaktadır. Bu ise daha fazla akışkan molekülünün mevcut yüzeyi süpürmesi dolayısıyla aralarında sıcaklık farkı bulunan yüzeyler arasında gerçekleşen ısı transferi miktarını artırmaktadır.

Literatürde küt cisimlerle ilgili yapılmış çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda en çok üzerinde yoğunlaşılan geometri düzgün, dairesel ve simetrik yapısından dolayı art iz bölgesinin akış formasyonunun diğer geometrilere göre daha kolay tahmin edilebilecek ve yorumlanacak dairesel kesitli silindirler oluştur. Bunun dışında, kare ve dikdörtgen kesitli

silindirler için yapılan çalışmalarda mevcuttur. Üçgen cisimler kullanılarak yapılan çalışmalarda ise sadece tek üçgen yerleştirilmesi durumunun akış karakteristikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Ancak yapılan bu çalışmalarda akış formasyonu yeterince detaylandırılmamış ve sadece ya sayısal ya da deneysel olarak araştırılmıştır. Ayrıca, küt cisimlerle ilgili yapılan literatür araştırması bölümünde de değinileceği üzere bu çalışmalar yalnızca akış karakteristiklerini incelemek üzere yapılmış çalışmalardır. Bu tez çalışmasında literatürdeki mevcut çalışmalardan farklı olarak farklı boyutlarda eşkenar üçgenlerin tek durumda ve ikili durumda da üst üste yerleştirilmelerinin, ikili yerleşim durumunda üçgenler arası farklı mesafelerin hem akış karakteristikleri hem de ısı transferi üzerine etkileri deneysel ve sayısal olarak incelenecektir.

2. BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Giriş

Küt cisim akışkanlar dinamiği, cisimlerin art iz bölgelerinde meydana gelen akış davranışının karmaşıklığından dolayı literatürde oldukça geniş bir yer kaplamaktadır. Farklı geometriye sahip cisimlerin akışkan ortamına bırakılmasından sonra bu cisimlerin etrafında ve arkalarında oluşan farklı davranışların nedenleri hem teorik hem de deneysel olarak araştırılmış ve araştırılmaya da devam etmektedir. Deneysel çalışmalarda laser doppler, kızgın tel anemometresi, duman ve boyar maddeler, parçacık görüntülemeli hız ölçüm yöntemi gibi farklı teknikler kullanılmış ve her biri akış olaylarını farklı bir noktadan ele alarak mevcut çalışmalara katkı sağlamıştır. Öte yandan akış alanına küt cisimlerin yerleştirilmesiyle sağlanan farklı akış davranışlarının ısı transferini nasıl etkilediğinin de etraflıca araştırılması gerekir. Geçmiş yıllarda bu alanda yapılmış çalışmaların çoğu teorik olarak yürütülmüştür. Çok az sayıda deneysel olarak araştırılan ve elde edilen sonuçların teorik sonuçlarla karşılaştırıldığı çalışma mevcuttur.

2.2. Önceki Çalışmalar

Akış karakteristikleri belirleme alanında yapılan çalışmalar incelendiğinde, akış yapısında değişiklik meydana getirecek hemen her türlü parametre ya teorik ya da deneysel olarak incelenmiştir. Akışkan akışına maruz bırakılmış tek bir küt cisim, sayıları artırılmış cisimler, farklı yerleşim düzeninde yerleştirilmiş blokajlar, birbirlerine göre relatif durumları aralarındaki açılar yardımıyla değiştirilmiş engeller kullanarak araştırmalar yapılmıştır.

Bunların yanında, küt cisimlerden önce ya da sonra farklı geometrideki engellerin kombineli bir biçimde akış alanına dahil edilmesine dair çalışmalar da vardır. Silindir elemanların kullanıldığı birkaç çalışma da ise farklı açısal hızlarda ve farklı ya da aynı yönde döndürülmesinin yaratacağı etkiler de araştırılmıştır. Kanal içerisine yerleştirilmiş silindir, kare ve 45^o döndürülmüş kareye ait akış karakteristikleri Ozgoren [1] tarafından Reynolds sayısının 550-3400 olduğu aralıkta araştırılmıştır. DPIV (dijital parçacıklı akış görüntüleme tekniği) kullanılarak yürütülen bu deneysel çalışmada, Strouhal sayısının frekansla değişimi her bir konfügrasyon için incelenmiş, ayrıca zaman ortalamalı akış şekilleri, anlık girdap alanları da sunulmuştur. Hem Reynolds sayısının hem de geometrinin akış karakteristikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Tek bir küt cisim kullanarak yapılan bir başka çalışmada ise Sahin ve arkadaşları [2] at nalı girdap sistemini ve oluşumunu düşey bir silindir etrafında incelemişler. PIV (parçacıklı akış görüntüleme) tekniği kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada anlık ve zaman ortalamalı hız vektörleri, akım çizgileri ve girdap kontürleri sunulmuştur. Silindirin üst tabanı civarında akış ekseni boyunca ileri ve geri hareket eden ve at nalı girdap olayını gösteren durma noktaları belirmiştir. Sınır tabaka içerisinde türbülanslı akış, iz bölgesinin boyu, Reynolds gerilme korelasyonları gibi bazı akış parametrelerinin h_l/D nin bir fonksiyonu olarak değiştiği görülmüştür.

Zhang ve Perot [3] üçgen bir silindir etrafındaki akış karakteristiklerinin tahmininde farklı bir türbülans modeli kullanmışlardır. Sabit Reynolds sayısında (Re=45.000) yapılan analizler sonucunda deneysel ve sayısal sonuçların birbiriyle uyumlu oldukları görülmüştür. Kararlı ve kararsız hal şartları için girdap alanları, Strouhal sayısı değişimleri ve ortalama hız profilleri sunulmuştur. Kanal içersine yerleştirilmiş dairesel silindire paralel girdap yaratıcıların akış alanına etkisi Ünal ve Gören [4] tarafından incelenmiştir. Farklı X/D oranlarının ve girdap yaratıcıların karşılama açılarının neden olduğu akış olayları sabit Reynolds sayısında deneysel olarak araştırılmış ve yatay eksende hız profilleri, akım hatları, girdap kontürleri, kayma gerilmeleri verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, akış alanına yerleştirilen girdap yaratıcıların silindir etrafındaki iz bölgesine ve sınır tabakadaki akış alanına büyük miktarda etki ettikleri anlaşılmıştır.

Yapılan çalışmalardan anlaşılacağı üzere, dalmış cisimlere ve dalmış cismler etrafındaki akışa direkt ya da indirekt müdahaleler akış formasyonunda bir takım değişikliklere yol açmaktadır. Aktif yollarla yüzeyinden emme ya da üfleme yapılan bir dolgun cisim etrafında akım parametrelerinin nasıl değişeceği Turan [5] tarafından sayısal olarak sınanmıştır. Cismin yükseklik oranının dört kademede (B/H=1, 2, 3 ve 4) değişimiyle emme ya da üfleme yapılması durumunda emmesiz/üflemesiz duruma göre nasıl farklılıklar gösterdiği sunulmuştur. Yıldırım [11] kanat arkasına yerleştirilen silindirin akım karakteristikleri üzerine etkilerini deneysel olarak araştırmıştır. Kanat arkasında farklı konumlara yerleştirilen silindirin kanat ucuyla silindir arasındaki boşluk oranı (l/D), kanadın ağırlık merkezinden düşeyden olan mesafe (h/D) ile üç farklı hücum açısının akış karakteristikleri üzerine etkileri incelenmiş, neticede elde edilen sonuçlar incelendiğin de kanat arkasındaki silindir en üst konumdayken silindirin tamamen kanat profilinin etkisi altında olduğu, aynı konumun simetri eksenine göre negatif değerinde ise silindirin az miktarda etkilendiği sonucuna varılmıştır.

Akışkan akışına maruz bırakıla dolgun cisimlerin ya da blokajların tek cisimdekine göre daha kompleks akış yapılarına, düzenli düzensiz girdap kopmalarına neden olmaktadır. Ardışık olarak yerleştirilen eşit çaplı iki dairesel silindirler etrafındaki akışa ait aeorodinamik kuvvetler ve Strouhal sayısının Reynolds sayısı ve boşluk oranına (L/D) bağlı değişimleri Zheng ve arkadaşları [12] tarafından irdelenmiştir. Strouhal sayısının Re=500 e kadar önemli oranda arttığı Reynolds sayısının bu değerden sonraki artışının Strouhal sayısında çok ciddi artışlara neden olmadığı, arkadaki silindire etki eden çalkantı kuvvetlerinin öndeki silindire etki edenden daha şiddetli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, ilk dairesel silindire etki eden sürükleme kuvvetinin Reynolds sayısı ve boşluk oranının değişimiyle çok fazla değişmediği gözlenmiştir. Keskin kenarlı blokajların iki ve üç boyutlu deneysel incelemeleri Havel ve arkadaşları [13] tarafından araştırılmış, alınan sonuçlar literatürdeki çalışmalarla kıyaslanmıştır. Analizler sonucunda; tek cisim rejimi (iki cismin tek cisim gibi davrandığı durum), iki ayrı cisim rejimi, rezonant rejimi ve yarı izoleli rejim olmak üzere dört farklı rejim belirlemişlerdir. Martinuzzi ve Havel [14] ise yüzeye monte edilmiş iki kübik eleman etrafındaki türbülanslı akışı iki boyutlu olarak sabit Reynolds sayısında (Re=22.000) irdelemişler ve elemanlar arsındaki boşluk oranına (S/H)

bağlı olark farklı akış şekillerinin oluştuğunu belirtmişlerdir. Üç boyutlu sayısal akış analizi ardışık olarak yerleştirilen eşit yarıçaplı iki silindir için Deng ve arkadaşları [15] tarafından yapılmıştır. Boşluk oranının etkilerinin araştırıldığı çalışmada, kritik boşluk oranının (L/D) 3.5 ile 4 arasında olduğu görülmüştür. Boşluk oranı dörtten büyük olduğunda kompleks girdap yapılarının belirginleştiği, L/D<3.5 olduğu durumda ise iz bölgesinin iki boyuttakine benzer bir hal aldığı belirtilmiştir.

Zikzak ya da diğer adıyla çapraz düzenlemeler için akış olayları ardışık düzenlemeden farklı, kendine özgü karakteristiklere sahiptir. Rüzgar tünelinde sabit Reynolds sayısında yapılan bir çalışmada zikzak düznlenen dairesel kesitli silindirlerin birbiriyle etkileşimi ve ayrı ayrı etraflarındaki akış olayları Alam ve Sakamoto [16] tarafından incelenmiştir. Farklı boşluk oranlarının (T/D) ve cisimler arasındaki açının (α) farklı varyasyonlarının etkileri araştırılmıştır. Ayrıca ardışık olarak düzenlenmiş kare-silindir ikililerinin birbirlerine göre önde ve arkada olma durumlarına göre analizler yapılmış. Bütün açı değerleri ve boşluk oranları için Strouhal sayısında ve girdap ayrılmalarında farklılıklar gözlenmiştir. Çapraz düzenlemede elemanların sayısı iki olduğu gibi bu sayı artırılarak daha fazla sayıda elemanlar yine benzer şekilde çapraz yerleştirilmek suretiyle yapılan çalışmalar da mevcuttur. Bunun bir örneği Paul ve arkadaşları [17] tarafından çalışılmıştır. Çok sayıda silindirik tüp kanal içerisine çapraz konfügrasyon ile yerleştirilmiş, S_T ve S_L oranlarının değişimiyle meydana gelen değişiklikleri hem sayısal hem de deneysel olarak izah etmeye çalışmışlardır. Farklı Reynolsd sayıları için ortalama hızları, türbülans şiddetleri, Reynolds gerilmeleri sunulmuştur. İlk sütunun ardında geniş ve yoğun girdaplar tespit edilmiş, ancak ikinci sütunun ardında şekillenen girdaplar daha ileriki sütunlarda önemli derecede azalmış ve daha sonra gözden kaybolmuştur. Artan türbülans seviyelerinin sonucu olarak, akış tüp demetine doğru çok hızlı bir biçimde artmakta ve çok kısa mesafede (x/d=3.35) periyodik olmaktadır. Gelişen bölgede türbülans profilleri önemli Reynolds sayısı etkileri sergilemektedir. Peryodik bölgede (x/d>3.35) ise akış neredeyse Reynolds sayısından bağımsız olmaktadır.

Büyük (T/d=3) ve orta ölçekli (T/d=1.7) iki boşluk oranının akış karakteristikleri üzerine etkileri Chen ve arkadaşları [18] tarafından incelenmiştir. Yan yana yerleştirilen iki silindiri

geçen akışa ait anlık girdap kontürleri, ortalama hız dağılımları ve basınç düşümleri sabit Reynolds sayısında (Re=750) sunulmuştur. Boşluk oranlarına göre yapılan kıyaslamada; T/d=3 için simetrik girdap caddelerinin yapılarının silindirler etrafındaki simetri basınç dağılımından kaynaklandığı, T/d=1.7 için ise silindirler arasında akışın sıkışma etkisinden ve silindirler arakasında akışın karışmasından dolayı boşluk akışı çevrinti meyli gösterdiğinden çoklu pikler elde edilmiştir. Yan yana düzende yerleştirilen silindirler etrafındaki akış karakteristikleri için bir diğer çalışmada Kun ve arkadaşları [19] tarafından gerçekleştirilmiştir. Sayısal olarak yürütülen bu çalışmada, boşluk oranı etkileri ve düşük değerdeki Reynolds sayısı etkileri araştırılmıştır. İz bölgesi akış şekillerinin büyük ölçüde boşluk oranına bağlı olduğu belirtilmiştir. Toplamda dokuz ayrı iz şekli belirlenmiş ve iz akış şekillerinin dördünün kararlı akış şekilleri, beşinin de kararsız akış şekilleri olduklarası belirlenmiştir. Du arkadaşları [20] tarafından dik kenarları birbirine bakacak biçimde üst üste yerleştirilen iki üçgen kullanılarak yapılan sayısal çalışmada Re=470.000 için 0.12 den 0.48 e kadar değişen boşluk oranların değişiminin boşluk akışının nasıl etkilediği araştırılmıştır. 0.22-0.48 aralığındaki boşluk oranlarında, boşluk akışı iz bölgesinde defleksiyona uğramış ve iz bölgesini birincil resirkülasyon ve ikincil resirkülasyon bölgesi olmak üzere iki parçaya ayırmıştır. Ancak boşluk oranının 0.12 olduğu durumda etkileşim çok güçlü olduğundan akış defleksiyona uğramamış ancak peryodik bir biçimde salınıma başlamıştır. İki silindirin ardışık yerleştirilmeleri ile çapraz yerleştirilmeleri durumlarında iz bölgelerinde oluşan farklılıklar Meneghini ve arkadaşları [21] tarafından çalışılmıştır. Karşılaştırma hem ardışık hem de yan yana düzenleme için hem 1.5D-4D boşluk değerleri ve Re=100 ve Re=200 için gerçekleştirilmiştir. Ardışık düzenlemede, boşluk oranının $L<3D$ olduğu durumda arkadaki silindirde negatif sürükleme kuvveti, 3D nin üzerindeki boşluk oranları için ise pozitif sürükleme kuvvetleri gözlenmiştir. Benzer şekilde, boşluk oranının $L<3D$ olduğu durumda girdaplar sadece arkadaki üçgenden ayrılırken 3D nin üzerindeki boşluk oranlarında ise her iki üçgenden ayrılmaktadır. Ardışık düzenleme için, $L\leq2D$ durumunda her iki silindir arasında ite kuvvetleri gözlenmiştir. Bu davranışın temel nedenlerini basınç kontürlerindeki dağılımlar açıklamıştır. $L\geq3D$ olduğu durumlarda ise, güç spektrumu tahmini Strouhal frekansında çok belirgin bir pik göstermiştir.

Temeli çapraz düzenlemeye benzeyen, ancak çapraz düzenlemeden farklı olan çalışmalarda mevcuttur. Açısal düzenlemelerle elemanların birbirlerine göre çapraz konumları düzgün açısal konfügrasyonlar yardımıyla ayarlanır. Öyle ki, bazı çalışmalarda 0-90^o, 0-180^o, 0-360^o gibi aralıklarda açılar ayarlanıp üst üste formdan ardışık forma, öndeki bir silindirin arkaya gelmesi ya da tam turla yer değiştirmesi gibi birtakım durumlar elde edilebilmiştir. Benzer bir çalışma Akosile ve Sumner [22] tarafından yürütülmüştür. Tek bir akışkan hızı altında iki silindirin birbirlerine iki farklı uzaklıkta olmaları kaydıyla 0-90^o arasında açıyı değiştirerek akış karakteristiklerindeki değişiklikleri incelemişlerdir. Kaymanın olmadığı ve olduğu durumlarla akış şartlarında incelenen çalışmada, kaymanın olmadığı durumlarda ortalama sürükleme kuvvet katsayılarının ve Strouhal sayısının tek bir silindirinkinden bir hayli farklı olduğu ve kuvvetlerin ve girdap kopma frekanslarının davranışlarının nerdeyse aynı olduğu görülmüştür. Kayma akış şartının olduğu durumda ise, bu davranışlar farklılaşmış ve etkileri aerodinamik kuvvet ve en çok da ortalama sürükleme kuvvetinde kendini hissettirmiştir. Sumner ve Richards [23] başka bir çalışmada ise açıları yine 0-90^o arasında daha küçük adımlarla değiştirmişler ve yine iki farklı boşluk oranı (P/D=2 ve 2.5) ve tek Reynolds sayısında çalışmışlar. Küçük açı değerlerinde ($2^o<\alpha<15^o$) güç spektrumundaki piklerin yokluğundan ya da geniş bantlı olduklarından dolayı Strouhal sayısı değerlerinin çok güvenilir olmadığı, bunun da arkadaki silindir üzerinde etkili olan kuvvetler ve girdap kopma aktiviteleri ile uyumlu olduğunu vurgulamışlardır. Gu ve Sun [24] ise açının yanı sıra boşluk oranı (N/d) ve Reynolds sayısını da değiştirerek aynı anda değişen daha fazla parametrenin basınç düşümü ve akış formasyonuna etkilerini değerlendirmişlerdir. Analizler sonucunda farklı akış ve basınç dağılım şekleri gözlemlemiş ve tartışmışlardır.

Yukarıda bahsedilen sistematik ve sık kullanılan düzenlemelerin dışında başka konfügrasyonlar da literatürde yer almaktadır. Üçlü silindir Gu ve Sun [25] tarafından kullanmıştır. Kanal içersinse üçgen oluşturacak şekilde yerleştirilen üçgenlerin üçlü bir blok halinde açıları değiştirilerek akış alanına yerleştirilmiştir. Açının yanı sıra üçlü blokun farklı N/d oranları da incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan hareketle, açı değişiminin her bir küt cisimdeki basınç dağılımını bir hayli değiştirdiği, silindirler arasındaki etkileşimden ya da iz bölgesi etkileşiminden dolayı en kompleks basınç dağılım şekilleri arkadaki

silindirlerde gözlendiği, boşluk oranları (N/d) açısından küçük, geçiş, orta ve büyük ölçekli olmak üzere başlıca dört farklı etki bölgesinin belirlendiği, silindirler arasındaki en ciddi karışma durumunda yani arkadaki silindirler üzerinde kayma tabakasının yeniden birleşme etkisinin akış düzenlemesine bağlı olarak silindir grubunun ya içine ya da dışına doğru yönelen önemli bir yanal kuvvete neden olduğu sonuçlarına varılmıştır.

Lam ve arkadaşları [26] üçlü silindir blokuna bir silindir daha ekleyerek dörtlü bloğun açısını değiştirerek sabit Reynolds sayısında hem açının hem de boşluk oranının eklerini araştırmışlardır. Çalışma neticesinde, üç ayrı akış rejimi belirlemişler ve açıya bağlı olarak güçlü akış nedenli titreşime neden olan iki ayrı akış şekli gözlemlemişler. Bunlardan birincisini silindirler üzerine doğrudan gelen akışkanın çarpması diğerini de üstteki ve alttaki silindirler arasındaki jet akışının yapısı olarak belirlemişlerdir. Leclercq ve Doolan [27] arkasında levha farklı uzaklıklarda yerleştirilmiş levha olan kanat etrafında kuvvet ve gürültü oluşumunu teorik, sayısal ve deneysel olarak incelemişler. Kurulan modelin kararsız kuvvet genliğinin ve faz farkının uzak bir alanda gürültü oluşumunu nasıl etkilediğinin anlaşılmasında yardımcı olduğu gösterilmiş ve girdap üreticisinin iz bölgesine bir cisim yerleştirildiğinde artan aerodinamik müdahalelerle kontrol edilebileceği sonucuna varılmıştır. Farklı boyut ve geometride bitişik olarak yerleştirilen kombineli iki cisim (kare-silindir, silindir-silindir) etrafındaki akışta girdap kopması olayı Yavuz ve arkadaşları [28] tarafından araştırılmıştır. Kullanılan cisimlerin geometri ve boyutları birbirinden farklı iken aynı zamanda birbirine bitişik nizamda konumlandırılan blokajlar 0^o den başlanarak 180^o ye kadar birlikte döndürülürken Reynolds sayısı da değiştirilmiştir. Her iki kombinasyon için de yeniden birleşmelerin meydana geldiği çarpma açılarında Strouhal sayısı artmıştır. Yeniden birleşmenin sonuna kadar, iz bölgesinin genişliği artmış ve Strouhal sayısı aniden azalmıştır.

Akış ortamına yerleştirilen dolgun ya da diğer adlarıyla küt cisimler sadece akış yapısını değiştirmekle kalmayıp ısı transferine de artırıcı yönde tesir etmektedir. Rosales ve arkadaşları [31] kanal içerisine yerleştirilen farklı boyuttaki kare silindirler etrafındaki akış karakteristikleri ve ısı transferini incelemişlerdir. Küçük kare silindir önde olmak üzere, ağırlık merkezleri yatayda aynı hizada ve eksenler farklı hizada olacak şekilde sayısal

olarak merkezde ya da kanal cidarlarına yakın konumlandırarak çalışmışlar. Arkadaki silindir ısıtılarak akışkan giriş sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklığa getirilmiş ve neticede; silindirlerin duvara yakın olmaları durumunda Nusselt sayısı ve sürükleme kuvvetinin azaldığını, Strouhal sayısının en büyük değerinin cisimlerin merkezde olma durumunda elde edildiğini bildirmişlerdir. Abbassi ve arkadaşları [32] ise haricen ısıtılan bir üçgen elemanın sağladığı ısı transferi ve akış olayını sayısal olarak inceleyerek periyodik akış için Strouhal sayısının Reynolds sayısı ile değişimini veren bir model önermişlerdir. Reynolds sayısının 45 civarındaki değerlerinde simetrik formdan periyodik forma geçiş gözlemlemişler. Ayrıca, kanal içerisinde üçgen elemanın varlığı $Re<45$ için ısı transferi ve akış şekilleri üzerinde çok az bir etki yarattığı, $Re\geq45$ durumunda ise (periyodik akışta) ısı transferinde ciddi miktarda artış olduğu belirtilmiş, $Re=250$ olduğunda ısı transferinde %85 civarında artış sağlamışlardır. Sripattanapipat ve Promvonge [33] baklava şekilli engelleri kanala yerleştirmişlerdir. Baklava şekilli engellerin açılarını ve Reynolds sayısını değiştirerek alt ve üst duvarın 330 K de sabit tutulmaları neticesinde oluşacak ısı transferini araştırmışlardır. Ancak baklava dilimi şeklinde elemanlar kullanılmasının ısı transferini %200-680 civarında artırmasına rağmen beraberinde boş kanala göre 20 ile 220 kat daha fazla sürtünme kayıplarına neden olmuştur. Ayrıca, düz levha ile yapılan kıyaslamalar sonucunda baklava dilimi şekilli elemanların ısı transferini düz levha tip elemanlara göre %6 daha arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Beş kare elemandan oluşan bir sütun Chatterjee ve arkadaşları [35] tarafından farklı boşluk oranlarıyla akış ortamına bırakılmış ve hem akış şekilleri hem de ısı transferi incelenerek literatürdeki çalışmalarla kıyaslanmıştır. Karenin kenarının dört katı veya daha büyük boşluk oranları için iz bölgesinde önemli karışmalar olmamış ancak daha küçük boşluk oranlarında farklı termodinamik ve hidrodinamik rejimler oluşturacak kadar karmaşık karışmalar olmuştur iz bölgesinde. Akış karakteristikleri ve ısı transferi levha geometrisine (eğik ve düz), kenar açısına, boşluk oranına (G/D) ve Reynolds sayısına göre Hanafi ve arkadaşları [36] tarafından çalışılmıştır. Boşluk oranı 7 ve 10 haricinde, test edilen bütün boşluk oranlarında ısı transferi ve akış karakteristiklerinin levha geometrisine tamamen bağlı olduğu, $G/D=7$ ve 10 için ise geometriden bağımsız olduğu görülmüştür. Velayati ve Yaghoubi [37] yan yana konumda üniform akış alanına yerleştirilmiş levha tip blokajların

etkinliğini sayısal olarak araştırmışlardır. Farklı blokaj oranlarında ve Reynolds sayılarında yürütülen çalışmada tabanı 75 ^{o}C de sabit yüzey sıcaklığında olan levhalar arsındaki üç boyutlu akış karakteristikleri ve ısı transferi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan hareketle; üç boyutlu akışlar için levha yüzeylerinde ayrılma ve tutunmanın büyük oranda Reynolds sayısına ve blokaj oranına bağlı olduğu, tutunma bölgesinin uzunluğunun artan Reynolds sayısı ve azalan blokaj oranı ile arttığı ve tutunma bölgesi yüksekliği ise uzunluğunun tam tersine artan Reynolds sayısı ve azalan blokaj oranı ile azaldığı, üstelik yüksek Reynolds sayılarında ve düşük blokaj oranlarında tutunmanın gerçekleşmediği tespit edilmiştir. Ayrıca, ortalama sürtünme katsayısının artan Reynolds sayısı ve blokaj oranı ile azaldığı görülmüştür. Öte yandan, ısı transfer tahmini tutunma bölgesi yakınında maksimum değer almakta ve ortalama Nusselt sayısı artan Reynolds sayısı ve blokaj oranı ile artmıştır. Hemida ve arkadaşları [38] ise yüzeyine 1777,8 W/m^2 üniform ısı akısı uygulanan iki ayrı küp (birinin yüzeyinde sadece levha olan, diğerinin yüzeyinde küçük kübik elemanlar olan küpler) demetinde akış olaylarını ve yerel ısı transferini sabit Reynolds sayısında sayısal olarak araştırmıştır. Girdap üreticilerinin kullanıldığı küp demetinde yüzeyi düz olana göre daha fazla ısı transferi sağlandığı ve daha karmaşık akış yapıları ve türbülansın meydana geldiği görülmüştür. Yüzeyi ısıtılan bir silindirin sağlayacağı ısı transferi ve neden olacağı girdap kopmaları farklı Reynolds sayıları için Bhattacharyya ve Singh [39] tarafından ortaya konulmuştur. Sayısal olarak yürütülen çalışmada, silindire ısı girişinin silindirin iz bölgesinde asimetriye yol açan negatif girdapların dayanımını arttırdığı, yüzey basınç ve girdap dağılımlarının batmazlık etkisi dikkate alındığın da asimetrik olduğu, sürükleme katsayısının artan yüzey sıcaklığı ile arttığı belirlenmiştir. İlaveten, Strouhal sayısının büyük ölçüde Richardson sayısının yanı sıra Reynolds sayısına da bağlı olduğu, sabit Reynolds sayısında Richardson sayısındaki artışın girdap kopma frekansında ciddi miktarda artışa neden olduğu da saptanmış ve zaman ortalamalı ısı transferinin Reynolds sayısı ile önemli ölçüde arttığı, Nusselt sayısının sabit Reynolds sayısında Richardson sayısı ile değişiminin neredeyse lineer olduğu gözlemlenmiştir. Isıtılan silindirle ilgili başka bir sayısal çalışma da Bharti ve arkadaşları [40] tarafından gerçekleştirilmiştir. Nusselt sayısının Reynolds sayısına ve prandtl sayısına bağımlılığının araştırıldığı araştırmada, silindir önünde yerel Nusselt sayısının akışkan

davranışın kayma zayıflamasından kayma yoğunlaşmasına doğru değiştiği için azaldığı ve minimum değerini durma noktası yakınında aldığı gözlenmiştir.

Igarashi ve Mayumi [41] düz ve eğik (açılı) olarak yerleştirilen dikdörtgen cisim etrafındaki ısı transferi ve akış olaylarını 2.500-12.800 Reynolds sayısı aralığında deneysel olarak incelemişlerdir. Eğim açısını 0^o-20^o arasında değiştirerek, $\alpha<15^o$ durumları için akışın laminar olduğu, $\alpha\geq15^o$ durumlarında ise akışının türbülanslı olduğunu belirlemişler. Maksimum ısı transferinin açının 0^o-5^o aralığında olduğu durumlarda sağlandığını belirtmişler. Juncu [42] düşük Reynolds sayılarında (1-30) farklı Prandtl sayıları için (0.1, 1, 10 ve 100) model parametrelerinin ısı transferi üzerine etkilerini kanal içerisine ardışık olarak yerleştirilen iki silindir etrafındaki akışta incelemişlerdir. Silindirlerin boyutsuz sıcaklılarının yüksek değerlerinde etkileşim başladığında ve geliştiğinde yüksek ısı transferi miktarları elde edilmiştir. Bunun, yüksek taşınım oranı, silindirler arasındaki küçük boşluk oranları ve hacimsel ısıl kapasitenin yüksek değerleri neticesinde elde edildiğini belirtmişlerdir. Mahir ve Altaç [43] yüzeyleri eş sıcaklıklı değişik uzaklık oranları (L/D=2, 3, 4, 5, 7 ve 10) için ardışık düzende karasız rejimde taşınılma ısı transferini araştırmışlardır. Farklı iki Reynolds sayısında yürütülen sayısal çalışmada, akış karakteristikleri de ayrıca sunulmuştur. Öndeki silindirin ortalama Nusselt sayısı $L/D\geq4$ olduğu durumda tek bir silindirdekinin değerine yükselmiştir. $L/D\geq4$ için öndeki silindir de bu durum gelişirken, arkadaki silindirde ısı transferi miktarı öndekinin %80 i kadar olmuştur.

Meinders ve Hanjalic [44] tam gelişmiş akış ortamına tabana ardışık ve zikzak yerleştirilmiş iki küp arasındaki ısı transferini araştırmışlardır. Benzer şekilde akış karakteristikleri de ayrıca incelenmiştir. Ardışık diziliş durumunda akış şekilleri ve ısı transferi periyodik iken, çapraz diziliş durumunda farklı asimetrik şekiller sergilemişlerdir. Nakamura ve arkadaşları [45] akış alanına 45^o açıyla yerleştirilen küp etrafındaki akım ve ısı transferi parametrelerini küp yüksekliğine bağlı olarak farklı Reynolds sayılarında incelemişlerdir. Analizler sonucunda, açılı yerleştirilmesinin düz yerleştirilmesine göre ısı transfer dağılımının hayli farklı olduğu, yüksek ısı transferi ve düşük basınç bölgelerinin yeniden birleşme akışı ve ayrılma çizgileriyle şekillendirildikleri belirtilmiştir. Isıtılan kare

silindir etrafındaki akışa ait ısı transferi ve akış karakteristikleri Turki ve arkadaşları [46] tarafından araştırılmıştır. Kanal içerisine yerleştirilen kare silindirin ısıtılmasıyla birlikte, blokaj oranının değişmesi (β=1/4 ve 1/8), Reynolds ve Richardson sayılarının da değişmesiyle ısı transferinde ve akış alanında meydana gelecek değişiklikleri incelemişlerdir. Reynolds sayısının kritik değerinin kararlı akıştan periyodik akışa geçişte blokaj oranının artışıyla arttığı, kare silindirden olan toplam ısı transferinin ise blokaj oranından çok az etkilendiği gözlenmiştir. Karma taşınımda ise karalı akıştan periyodik akışa geçişte Reynolds sayısının kritik değerinin artan Richardson sayısı ile azaldığı belirlenmiştir.

Evin ve Tanyıldızı [47] tabanı kısmi olarak ısıtılan bir kanalda akışa dik yerleştirilen engellerin ısı transferi ve akış karakteristikleri üzerine etkilerini çalışmışlardır. Çapları birbirinden farklı silindirlerin kanal içinde yerlerini değiştirerek yürütülen deneysel çalışmada, oluşan girdapların silindir yüzeyinde ısı transferinde artışa neden olduğu belirlenmiştir. Valencia ve Cid [48] ise periyodik olarak yerleştirilen kare silindirler etrafındaki akışa ait ısı transferi ve akış karakteristiklerini analiz etmişlerdir. Bütün boşluk oranları için karasız türbülanslı akışın kompleks yapıları bulunduğunu ve benzer şekilde bütün düzenlemeler için ortalama ısı transferi artışının basınç kayıplarının artışından bir hayli küçük olduğunu ifade etmişlerdir. Küt cisimler etrafındaki akış alanında akış ve ısı transferi karakteristiklerinin etkilendiği ve her birisi için farklı davranışlar sergilediği çalışmaların dışında, silindir bir elemanın dönmesi neticesinde meydana gelecek akış karakteristikleri Paramane ve Sharma [49] tarafından incelenmiştir. Silindirin dururken ve beş farklı açısal hızla dönerken Reynolds sayısı ve Prandtl sayılarının da değişmesiyle akış karakteristikleri ve ısı transferinde meydana gelecek değişiklikler araştırılmıştır.

Kanal içerisine küt cisimler yerleştirilerek yapılan çalışmalarda, akış yapısında değişiklik meydana getirecek hemen her türlü parametre ya teorik ya da deneysel olarak incelenmiştir. Akışkan akışına maruz bırakılmış tek bir küt cisim, sayıları artırılmış cisimler, farklı yerleşim düzeninde yerleştirilmiş blokajlar, birbirlerine göre relatif durumları aralarındaki açılar yardımıyla değiştirilmiş engeller kullanarak araştırmalar yapılmıştır. Bunların yanında, küt cisimlerden önce ya da sonra farklı geometrideki engellerin kombineli bir

biçimde akış alanına dahil edilmesine dair çalışmalar da vardır. Silindir elemanların kullanıldığı birkaç çalışma da ise farklı açısal hızlarda ve farklı ya da aynı yönde döndürülmesinin yaratacağı etkiler de araştırılmıştır.

Sunulan bu tez çalışmasında literatürden farklı olarak üçgen geometrili küt cisimler farklı boyutlarda, farklı blokaj oranlarında ve farklı Reynolds sayılarında tek ve üst üste yerleştirilerek, bu cisimlerin etrafında ve ardındaki akış alanına ait akış ve ısı transferi karakteristikleri hem sayısal hem

3. BÖLÜM

DENEY DÜZENEĞİ

3.1. Deney Düzeneğinin Tanıtılması

Bu tez çalışmasında deneyler Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne ait Termodinamik Laboratuvarı'nda yürütülmüştür. Deney düzeneğinin önemli bir kısmını oluşturan su kanalı ve su tankları Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, akışkan içine atılan parçacıkların gönderilen lazer demetiyle görüntülenmesini sağlamak amacıyla akışkan kanalı fleksiglas malzemeden imal edilmiş olup, uzunluğu 4250 mm dir. Akışkan kanalı su tanklarına vidalarla birleştirilmiş ve benzeri bağlantılarda sızdırmazlık sağlayan yapıştırıcı madde ve kimyasallar kullanılmıştır. Ayrıca, alttan üç adet ayarlanabilir ayaklarla desteklenerek sağlamlaştırılmıştır. Sisteme akışkan sağlayan tanklar (iki adet) Al malzemeden üretilmiş ve hem iç hem de dış kısımları paslanmaya karşı koruyucu boya ve kimyasallarla kaplanmıştır. Kanala su girişinin olduğu su tankının kanalla birleştiği bölge uygun yarıçapla yuvarlanarak akış yapısına sağlayacağı olumsuz etki giderilmeye çalışılmıştır. İki tank birbirine üstten su kanalıyla alttan ise 3-50 Hz aralığında çalışan sabit devirli pompa bulunan flex hortumla bağlanmıştır. Sistemde bulunan suyun boşaltılması istenilen durumlarda boşaltma yapabilmek için her iki kanalın alt kısımlarına tahliye vanaları (iki adet) yerleştirilmiştir. Kanal içerisine elemanların yerleştirilebilmesi için kanalınkiyle aynı malzemeden yapılmış vidalı kapak bulunmakta, sızdırmazlıkların sağlanabilmesi için ise araya conta konulmuştur. İstenile hızda üçgen elemanları akışa maruz bırakabilmek için pompa devri frekans kontrollü hız ayarlayıcı ile değiştirilmiş dolayısıyla hız istenilen seviyelere (0.042-0.082 m/s) ayarlanmıştır. Akışkanın hız ölçümlerinde türbin tip dijital debi ölçer kullanılmıştır. Pompanın çıkış hattında bulunan kanaldaki su pompa yardımıyla kanala yönlendirilmekte, üçgen elemanlara çarparak

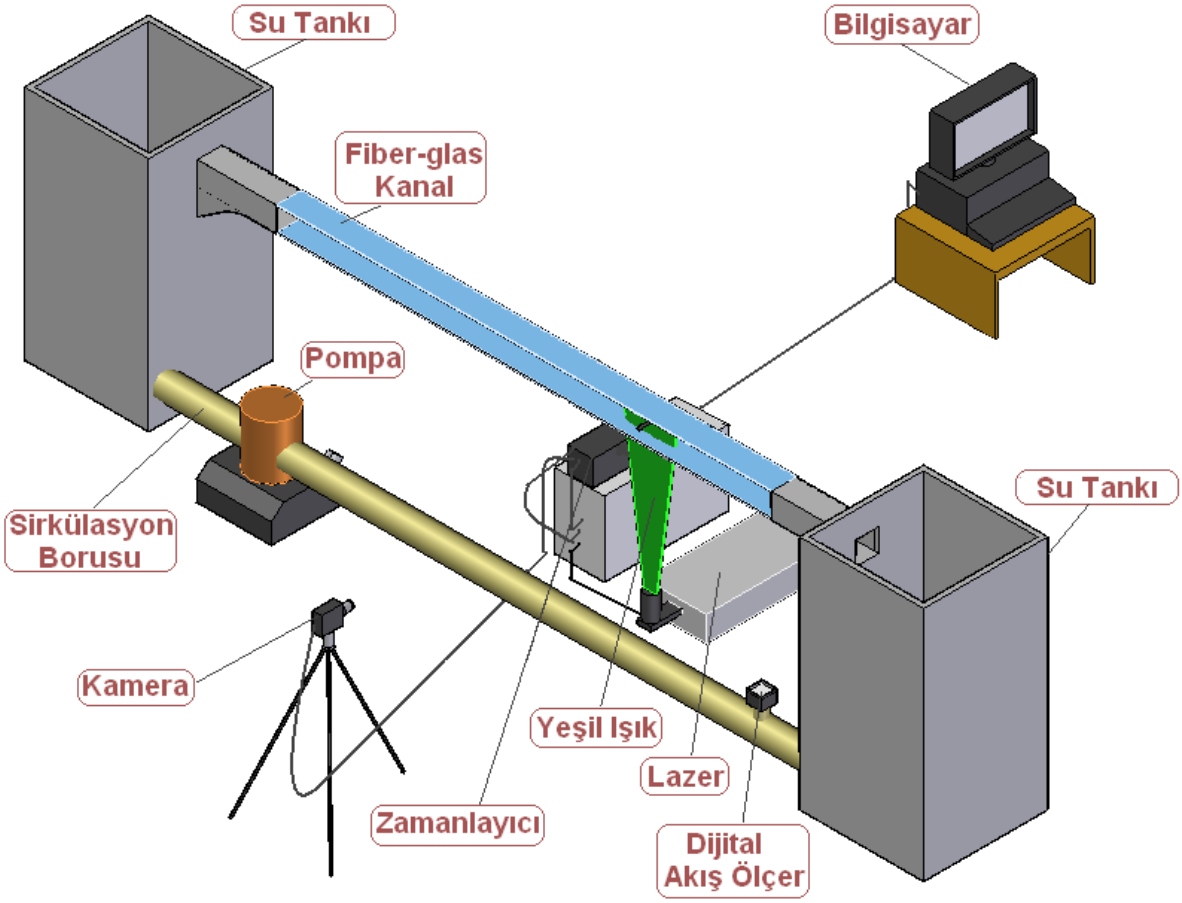
kanalda ilerleyen akışkan pompa emme hattında bulunan kanala geçmekte ve dolayıyla kapalı bir çevrim oluşturarak sistemde dolaşmaya devam etmektedir.



Şekil 3.1. Su kanalının genel görüntüsü.

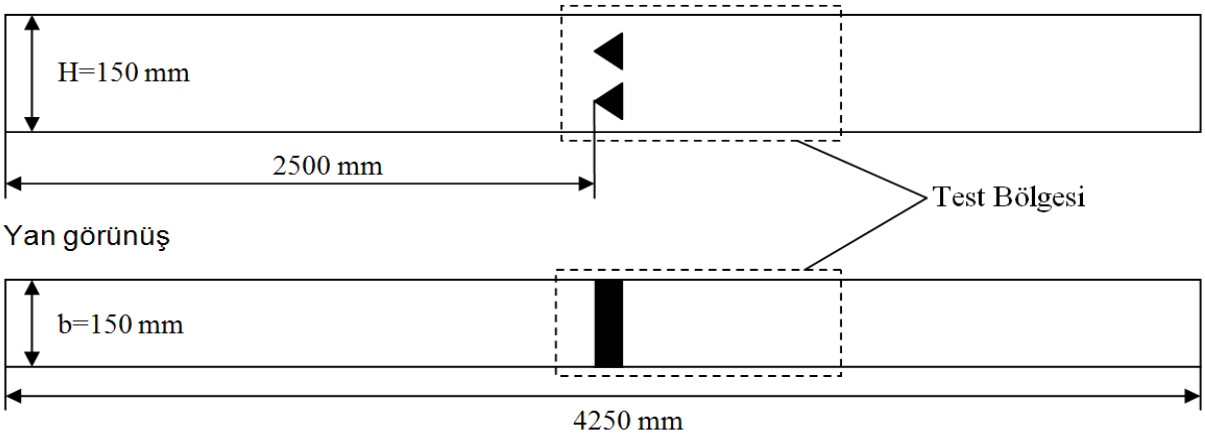
Şekil 3.2'de şematiği sunulan deney düzeneğinde su kanalı ve su tanklarına ilaveten, kameradan elde edilen görüntüleri aktarmak ve bu görüntüleri işlemek için kullanılan bir bilgisayar, lazerin her bir atışıyla kameranın eş zamanlı görüntü almasını sağlayan zamanlayıcı (timer box), Nd: yag lazer, bir lazer kaynağı, kontrol kumandası, yüksek çözünürlüklü bir CCD (Charge Coupled Device) yer almaktadır.

Üçgen elemanların tam gelişmiş akışa maruz bırakılabilmesi için kanal girişinden 2500 mm uzaklığa yerleştirilmiştir. Önce farklı kenar uzunluklarına sahip eşkenar üçgenler (B=15, 20 ve 25 mm) tek tek akış alanına bırakılmış daha sonra, aynı boyutlardaki iki eşkenar üçgen üst üste/yanyana (su kanalı yatay olduğundan ve elemanlarda kanal tabanına paralel olarak yerleştirildiklerinden bundan sonra üst üste kullanılacaktır) farklı boşluk oranlarında (W/B=0, 0.5 ve 1) yerleştirilmiştir. Kanal genişliği W, eşkenar üçgenin bir kenar uzunluğu B ile gösterilmiştir. Anlatıldığı gibi, üst üste düzenleme neticesinde cisimlerin etrafında ve art iz bölgelerinde oluşacak akış olayları Reynolds sayısının $5x10^3$, $7.5x10^3$ ve $10x10^3$ olmak üzere üç farklı değeri için araştırılmıştır.

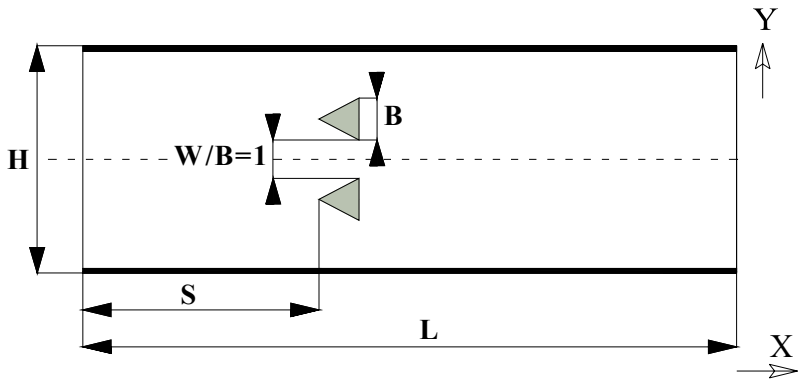


Şekil 3.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü.

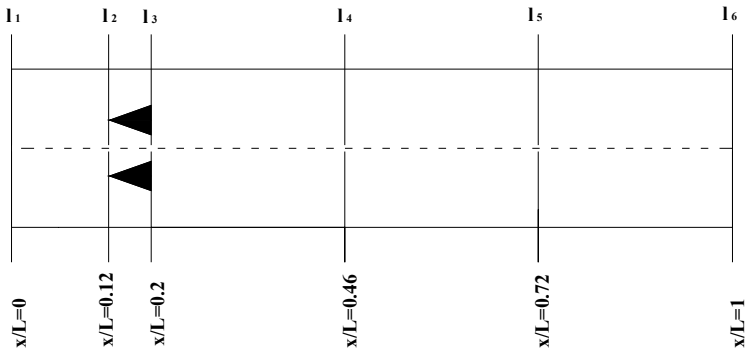
Üçgen elemanların kanal içerisine tek yerleştirilmeleri durumunda ölçüleri Şekil 3.3a'da verilen kanalın tam ortasına yerleştirilmişler, ikili kombinasyonlarında ise iki cisim düşey mesafede kanalın orta eksenine eşit uzaklıkta olacakları şekilde konumlandırılmışlardır. Cisimlerin önünden 40 mm, arkalarından itibaren ise 260 mm, yani toplam 320 mm genişliğinde ve 150 mm yüksekliğinde (320x150 mm^2) bir alan kamera tarafında görüntülenmiştir. Test bölgesi olarak adlandırılan ve Şekil 3.3a'da gösterilen ve Şekil 3.3b'de detaylandırılan bu bölgede alınan görüntüler parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği (particle image velocimetry-PIV) kullanılarak DANTEC firmasına ait DYNAMIC STUDIO v2.30 yardımıyla işlenmiş ve analizler için uygun çıktılara dönüştürülmüştür.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.3. a) Deney kanalının yan ve üst görünüşü, b) test alanının şematik görünümü, (c) test bölgesinde hız dağılımlarının çizildiği doğrular.

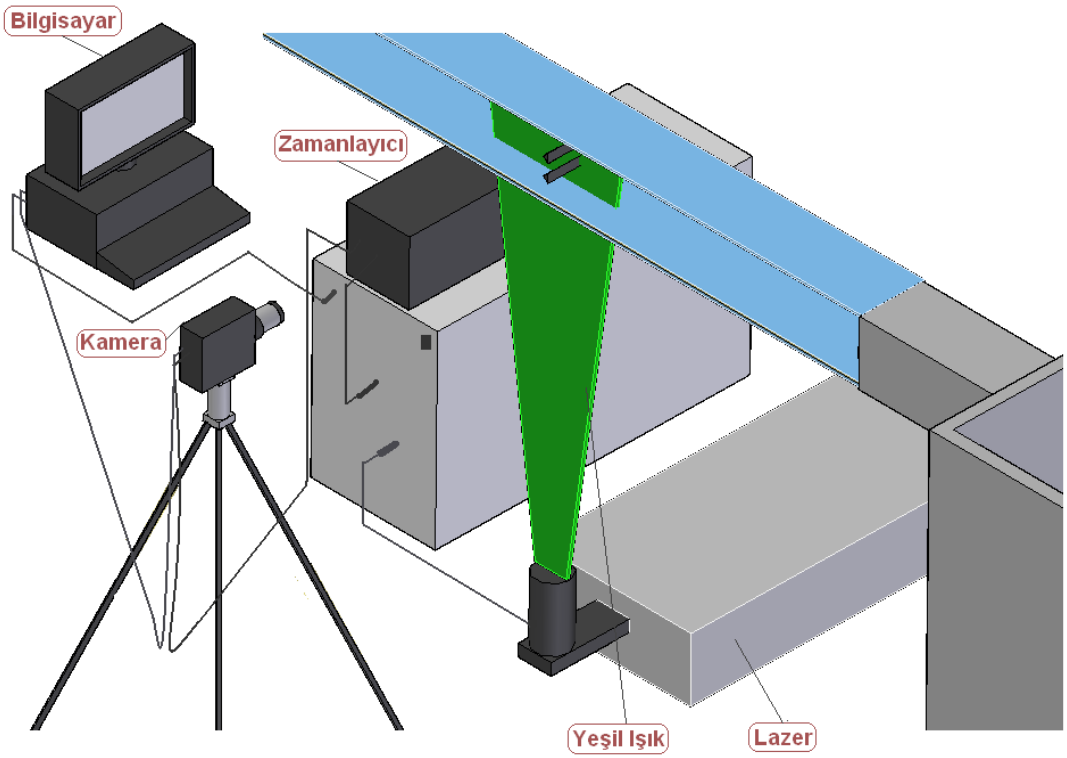
CNC tezgahta 150x350 mm derlin kütükten işlenerek elde edilen üçgen elemanlar altı adet üretilmiştir. Tezgahtan çıktıktan sonra üçgen cisimler üzerindeki kalem izleri ve pürüzlülüklerin giderilmesi için ince zımparayla zımparalanmıştır. Deneyler sırasında lazerden gönderilen ışık demetinin cisimler üzerinde yansıma yapmaması için siyah parlak sprey boya ile boyanmıştır.

3.2. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği

Parçacık görüntülemeli hız ölçüm yöntemiyle yapılan çalışmalar temelde görüntülerin belli aralıklarla alınması, bilgisayar ortamına aktarılması ve burada işlenerek uygun çıktılara dönüştürülmesi prensibine dayanır. Bilgisayarda işlenen görüntülerden kastedilen aslında partiküllerdir. Çünkü kameradan alınan görüntülerde hesaplamalar partiküllerle doğrudan ilişkilidir. Şöyle ki; kameranın gördüğü alan yazılım yardımıyla küçük karelere bölünür. Bu kareler sayesinde lazerin art arda gönderdiği iki atışta bu küçük alandaki partiküllerin hangi yönde ne kadar hareket ettikleri belirlenebilir. Lazerin ardışık iki atışı arasında geçen üre bilindiğinden, uygun bağıntılar yardımıyla partiküllerin dolaysıyla akışkanının test alanındaki hız değerleri vektörel olarak saptanmış olur. Ancak, bu şekilde bir hesaplamanın varlığı akışkan içerisinde uygun özellik ve yeter miktarda partikül (seed-cam küre) ile mümkündür. Parçacıkların çok düşük yoğunluklarının olması akışkanla birlikte hareket etmelerine sebep olmakta, her hareketlerinin akışkan hareketini temsil etmelerine yol açmaktadır.

Akış görüntüleme ve görüntü yardımıyla akış karakteristiği belirleme çalışmalarında, parçacıkların akışkanla bütünleşik hareket etmeleri tek başına yeterli olmamaktadır. Bunun yanı sıra, lazer ışık demeti altında analizlerde yeterli olacak parçacık belirginliğin sağlanması gerekmektedir. Başka bir ifadeyle, ışık demeti altında parçacıklar net görünmeli ve üzerlerine gelen ışığı yansıtacak nitelikte olmalıdırlar. Bu özelliği sağlayacak metal ya da cam tozları mevcuttur. Bu nedenle, deneylerde 10μm çapında cam tozu kullanılmıştır.
İki boyutlu bir parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği sisteminde bulunan parçalar Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, çift dalga boylu ve 135 mJ enerjiye sahip 532 nm lik kızıl ötesi radyasyon dalgası gönderebilen çift darbeli Nd:Yag lazer, yukarıda temel prensipleri açıklanan hız ölçümünde görüntülerin alınmasını sağlayan yüksek

çözünürlüklü DANTEC marka kamera, kontrol kumandası devre dışı bırakılarak da kullanılabilen lazer kaynağı ve kamera ile lazer arasında senkronizasyon işlevi gören zamanlayıcı bulunmaktadır.



Şekil 3.4. PIV sisteminin şematiği.

Şekil 3.4'ten görüldüğü gibi, lazer su kanalının tam altına yatay bir biçimde ve kanal alt tabanına 90^{o} açıyla ışık gönderecek şekilde yerleştirilmiştir. Lazerin ışıkları dik göndermesi oldukça önemlidir. Çünkü, kamera ile ışık demetinin birbirlerine dik olması kanalın yandan görünüşünde hız ölçümü yapılmasını sağlamaktadır. Aksi takdirde, yani farklı açı ile birbirlerini görmeleri durumunda ölçümler farklı bir düzlemde alınacak ve sonuçlar hatalı olacaktır. Kamera bilgisayara ve zamanlayıcıya bağlı iken, lazerin de zamanlayıcı ve bilgisayara bağlı olması bu iki önemli parçanın bilgisayardan kontrol edilmelerine imkân tanımaktadır. Lazerin parlamasıyla parçacıklardan elde edilen görüntülerin iyi bir biçimde algılanması ve analiz edilebilir hale gelmesi için alınan görüntülerin netliği ve parlaklıkları oldukça önemlidir. Bu ise, objektiften yapılan netlik ayarı ve diafram açıklığına bağlıdır.

Kameranın netlik ayarı yapıldıktan sonra uygun diafram açıklığına getirilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında kamera 2.8 açıklıkta çalışılmıştır. Ayrıca, daha sağlıklı görüntüler alınabilmesi için deneylerin yapıldığı ortamda pencerelerden olası ışık sızmalarına karşı laboratuvar izole edilmiştir.

Parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniğinde önemli hususlardan biri de birim zamanda birim alandan geçen parçacık miktarıdır. Deneysel çalışmalarda bu hususun iyi belirlenmesi doğru görüntülerin işlenebilirliği açısından büyük önem arz etmektedir. Parçacıklar akışkanla birlikte hareket ettiğine göre akışkanın hızı istenilen seviyeye getirilirken lazerin birim zamanda parlama sayısının da ayarlanması gerekmektedir. Lazer parlaması ve akış hızı arasında ters orantı vardır. Çünkü yüksek hızlarda birim zamanda geçen parçacık sayısı çok fazla olduğundan lazer çok daha küçük zaman aralıklarında parlama yapmalıdır ki parçacıklar lazerle senkronize çalışan kamera ile görüntülenebilsin. Dolayısıyla yüksek akış hızlarında kısa parlama zamanı, düşük akış hızlarında ise uzun parlama zamanı gerekmektedir. PIV sisteminde lazerin ardışık iki parlaması arasında geçen süre "time between pulses" olarak adlandırılmış ve bu tez çalışmasında Re=5.000 için 32.000, Re=7.500 için 25.000, Re=10.000 için 15.000 olarak alınmıştır.

PIV sisteminde deney yapmaya başlamadan önce sistemin çok hassas bir biçimde kalibre edilmesi gerekir. Kalibrasyon işleminin ardından görüntü almaya başlanabilir. Görüntüler alındıktan sonra bilgisayar hafızasına kaydedilir. Her bir deney için kaydedilen 250 anlık görüntü işlenmeye başlanır. Ham parçacık alanları elde edilir. Maskeleme ve kötü yöneylerin giderilmesi işlemlerinden sonra görüntüler korelasyona sokulur. Korelasyon neticesinde sağlanan görüntüler akış alanı analizinde kullanılacak hız vektörlerinin, akım çizgilerinin, girdap alanlarının ve hız dağılımlarının elde edilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca, küt cisimlerin arkalarında belli noktalarda akışın küt cisimlere çarpması neticesinde meydana gelen girdap kopmalarının frekansları güç spektrum grafikleri yardımıyla belirlendi. Belirlenen kopma frekansları yardımıyla giriş kısmında tanımı yapılan Strouhal sayısının Reynolds sayısı ve düzenleme şekilleri ile değişimi incelendi.

4. BÖLÜM

SAYISAL YÖNTEM

4.1. Giriş

Tezin nümerik bölümünde, kanal içerisine tek ve üst üste yerleştirilmiş eşkenar üçgen küt cisimlerin yüzey sürtünme katsayısına ve ısı transferine olan etkisi irdelenmiştir. Bunlara ek olarak üç farklı kenar boyutu (B=15, 20 ve 25) ve üç farklı boşluk oranı (W/B=0, 0.5 ve 1) için elde edilen deneysel hız dağılımları ile sayısal analizler sonucu elde edilen hız dağılımları birlikte sunulmuş ve birbirleri ile uyumlu oldukları gösterilmiştir. Uygulanan sayısal yöntemin deneysel verilerle uyumlu olduğunun belirlenmesinden sonra kanal alt tabanı 360 K de sabit tutularak meydana gelecek ısı transferinin karakteristikleri belirlenmiştir. Sayısal analizlerde kullanılan ağ yapıları Şekil 4.1-6. Da gösterilmiştir. B, eşkenar üçgenin kenar uzunluğu olmak üzere; kanal yüksekliği H=150 mm olarak alınmıştır. Analizler, Reynolds sayısının $5x10^3$-$10x10^3$ aralığında yapılmış olup; sıcaklık kontürleri, kanal alt yüzeyi boyunca Nusselt sayısı ve yüzey sürtünme katsayısının değişimi, ortalama Nusselt sayısı ve yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi sunulmuştur. Sayısal model iki boyutlu (x, y) ve zamandan bağımsız olarak incelenmiştir. Akışkanın yoğunluğu, viskozitesi ve ısıl iletkenliğinin sabit olduğu kabul edilmiştir. Sayısal analizlerde kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir. Denklem 4.1'de süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0 \tag{4.1}$$

şeklindedir. X, y ve z yönündeki momentum denklemleri ise denklem 4.2, 4.3 ve 4.4 te sunulmuştur.

$$u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}+\nu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) \tag{4.2}$$

$$u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y}+\nu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right) \tag{4.3}$$

$$u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial z}+\nu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right) \tag{4.4}$$

Enerji denklemi denklem 4.5 ile verilmiştir.

$$u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}=\alpha\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) \tag{4.5}$$

4.2. Renormalizasyon Grup k-ε Modeli (RNG k-ε Modeli)

Türbülans modelleme yöntemlerinden biri olan k-ε modelinin üç türünden biri olan RNG k-ε modeli renormalizasyon grup tekniği adında bir matematiksel model kullanarak anlık Navier-Stokes eşitliklerinden türetilmiştir. RNG k-ε modelinin standart ve gerçeklenebilir k-ε modellerinden farkı; türbülans viskozitesinin hesaplanma yöntemi, k ve ε nun türbülans difüzyonunu kontrol eden türbülans Prandtl sayıları, ε denklemindeki üretim terimlerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca aktarım denklemlerinden farklı olarak k ve ε için ilave terimler ve fonksiyonlar mevcuttur.

4.2.1. Renormalizasyon Grup k-ε Modeli için Aktarım Denklemleri

Yukarıda da açıklandığı gibi Renormalizasyon Grup k-ε Modeli standart k-ε Modeliyle birtakım farklılıkların dışında benerlik göstermektedir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k)+\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\alpha_k \mu_{eff}\frac{\partial k}{\partial x_j}\right)+G_k+G_b-\rho\varepsilon-Y_M+S_k \tag{4.6}$$

Denklem 4.6'da G_k ortalama hız düşümünden kaynaklanan türbülans kinetik enerjisi üretimini ifade etmektedir. Aynı eşitlikteki G_b terimi kaldırma kuvvetinden kaynaklanan

türbülans kinetik enerji üretimidir. Y_M çalkalanan dilatasyonun sıkıştırılabilir türbülansta bütün yayılma oranlarına katkısını belirtmektedir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon)+\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\varepsilon u_i)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\alpha_\varepsilon\mu_{eff}\frac{\partial\varepsilon}{\partial x_j}\right)+C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}(G_k+C_{3\varepsilon}G_b)-C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k}-R_\varepsilon+S_\varepsilon \tag{4.7}$$

Denklem 4.7'de verilen $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ ve $C_{3\varepsilon}$ model sabitleridir. α_k ve α_ε sırasıyla k ve ε için zıt efektif Prandtl sayılarıdır. S_k ve S_ε kullanıcı tanımlı kaynak terimlerdir. Çalışmada kullanılan akışkana sıkıştırılamaz akışkan kabulü yapıldığından dolayı yoğunluk sabittir. Yoğunluk sabit olduğu için ısıl genleşme katsayısı sıfıra eşit olacağından G_b, Y_M çalkalanan dilatasyonun sıkıştırılabilir türbülansta bütün yayılma oranlarına katkısı olduğundan Y_M terimide sıfır olur. Denklem 4.6 ve 4.7 yukarıdaki açıklamaları dikkate alınarak yeniden düzenlenirse,

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\alpha_k\mu_{eff}\frac{\partial k}{\partial x_j}\right)+G_k-\rho\varepsilon+S_k \tag{4.8}$$

ve

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\varepsilon u_i)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\alpha_\varepsilon\mu_{eff}\frac{\partial\varepsilon}{\partial x_j}\right)+C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}(G_k+C_{3\varepsilon})-C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k}-R_\varepsilon+S_\varepsilon \tag{4.9}$$

formuna dönüşür. Bu denklemlerde μ_{eff} efektif viskoziteyi ifade etmektedir.

4.2.2. Efektif Viskozitenin Modellenmesi

RNG teorisindeki ölçek eleme prosedürü türbülans viskozitesi için farklı bir eşitlikle sonuçlanır.

$$d\left(\frac{\rho^2 k}{\sqrt{\varepsilon\mu}}\right)=1.72\frac{\hat{\nu}}{\sqrt{\hat{\nu}^3-1+C_\nu}}d\hat{\nu} \tag{4.10}$$

burada,

$$\hat{\nu} = \mu_{eff} / \mu \tag{4.11}$$

$$C_v \approx 100 \tag{4.12}$$

Efektif türbülansın efektif Reynolds sayısı ile nasıl değiştiğinin doğru tanımını elde etmek için türetilmiştir ve bu tanım düşük Reynolds sayısı ve yakın-duvar akışlarını daha iyi ele alınmasına olanak sağlamıştır. Yüksek Reynolds sayılarında türbülans viskozitesi ise;

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \tag{4.13}$$

$C_\mu = 0.0845$'tir ve bu değer RNG teorisi kullanarak elde edilir. Ve C_μ nün değeri standart k-epsilon modelinde kullanılan deneysel olarak elde edilen 0.09 değerine çok yakındır (FLUENT 6.1.22).

4.2.3. Ters Efektif Prandtl Sayılarının Hesaplanması

Aşağıda sunulan Denklem 13, ters efektif Prandtl sayıları α_k ve α_ε nın hesaplanmasında kullanılır.

$$\left|\frac{\alpha - 1.3929}{\alpha_0 - 1.3929}\right|^{0.6321} \left|\frac{\alpha + 2.3929}{\alpha_0 + 2.3929}\right|^{0.3679} = \frac{\mu_{mol}}{\mu_{eff}} \tag{4.14}$$

$\alpha_k = 1.0$. Yüksek Reynolds sayılarında $\mu_{mol} / \mu_{eff} << 1$ olarak sınırlandırılır, $\alpha_k = \alpha_\varepsilon \approx 1.393$ 'tür (FLUENT 6.1.22).

4.2.4. Epsilon Denklemindeki R Terimi

RNG ve standart k-ε modeli arasında ana fark aşağıda verilen ε eşitliğindeki ek terimdedir. Denklem 4.15 te $\eta_0 = 4.38$ ve $\beta = 0.012$'dir.

$$R = \frac{C_\mu \rho \eta^3 (1 - \eta / \eta_0)}{1 + \beta \eta^3} \frac{\varepsilon^2}{k} \tag{4.15}$$

$$\eta = S_k / \varepsilon \tag{4.16}$$

şeklinde tanımlanır. RNG ε eşitliğinde bu terimin etkileri, Denklem 4.7'nin yeniden düzenlenmesiyle açıkça görülebilir. 4.15 eşitliğini kullanarak Denklem 4.7'de eşitliğin sağ tarafındaki üçüncü ve dördüncü terimler birleştirilir ve ε eşitliği tekrar yazılırsa,

$$\rho\frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\alpha_\varepsilon \mu_{eff}\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i}\right) + C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}(G_k + C_{3\varepsilon}G_b) - C_{2\varepsilon}^{*}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} \tag{4.17}$$

halini alır. Burada yine çalışmanın zamandan bağımsız olduğu dikkate alınarak ve G_b dikkate alınmaz ise denklem;

$$0 = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\alpha_\varepsilon \mu_{eff}\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i}\right) + C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}G_k - C_{2\varepsilon}^{*}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} \tag{4.18}$$

şeklini alır. $C_{2\varepsilon}^{*}$ ise ;

$$C_{2\varepsilon}^{*} \equiv C_{2\varepsilon} + \frac{C_\mu \rho \eta^3 (1-\eta/\eta_0)}{1+\beta\eta^3} \tag{4.19}$$

$\eta < \eta_0$ olan bölgede R terimi pozitif bir katkıda bulunur ve $C_{2\varepsilon}^{*}$, $C_{2\varepsilon}$ 'dan daha büyük olur. Sonuç olarak zayıf ya da orta derecedeki zorlanmış akımlarda RNG modeli Standart k-epsilon modelinden daha iyi mukayese edilebilir sonuç verir. Yüksek derecede zorlanmış akım için ($\eta > \eta_0$) R terimi negatif bir katkıda bulunur ve $C_{2\varepsilon}^{*}$, $C_{2\varepsilon}$' dan daha küçük olur. Standart k-epsilon modeli ile karşılaştırıldığında yayılmanın daha az bozulmasından dolayı ε artacak ve k azalacaktır ve dolayısıyla türbülans viskozitesi de değişecektir. Sonuç olarak hızlı zorlanmış akışlarda RNG modeli daha düşük bir türbülans viskozitesi verir (FLUENT 6.1.22).

4.2.5. Model Sabitleri

C1ε, C2ε model sabitleri RNG teorisi ile analitik olarak elde edilir ve bu değerler C1ε=1.42, C2ε=1.68 şeklindedir (FLUENT 6.1.22).

4.3. Akışkanın Fiziksel Özellikleri ve Sınır Şartları

Sayısal çalışma öncelikle hız profillerinin elde edilebilmesi için enerji denklemi çözülmeden gerçekleştirilmiştir. Hız profillerinin PIV deney sonuçları ile uyum gösterdiği görüldükten sonra, enerji denklemi de hesaba katılarak analizler gerçekleştirilmiş ve kanal alt duvarı boyunca Nusselt sayısı dağılımları verilmiştir. 2 boyutlu kanal akış özelliklerine göre giriş, cıkış ve duvarlardaki sınır şartları incelenmiştir. Bu çalışmada suya ait termodinamik özellikler dikkate alınmıştır. Başlangıç sıcaklığı 300 K olarak alınmıştır. Kanal çıkışı için basınç çıkışı (pressure outlet) sınır şartı kullanılmıştır (Pgösterge=0). Sayısal analizlerde giriş hızı üniform olup; Reynolds sayısının 5.0x103-10.0x103 aralığında çalışma gerçekleştirilmiştir. Kanalın alt duvarına sabit yüzey sıcaklığı (360K) sınır şartı uygulanmıştır. Üst duvar adyabatiktir.

4.4. Problemin Sayısal Çözümünde Seçilen Yöntemler

Kanal boyunca hız, Nusselt sayısı ve yüzey sürtünme katsayısı dağılımları FLUENT 6.1.22 paket programı kullanılarak elde edilmiştir. Çözümler; ayrılmış çözücüde dolaylı (implicit) metot kullanılarak iki boyutlu ve zamandan bağımsız elde edilmiştir. Kullanılan programda, basınç, momentum ve enerji denklemlerinin ayrıklaştırma işlemi için ikinci dereceden ileri fark yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Basınç–hız denklem çiftlerinin ayrıklaştırma işlemi için ise SIMPLE algoritması kullanılmıştır.

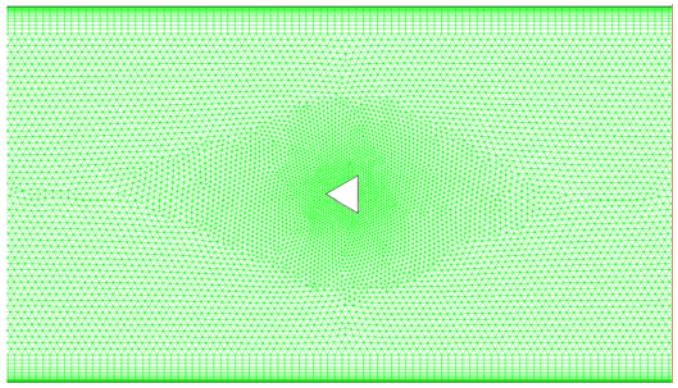
4.5. Yakınsama Kriterleri

Nümerik bir çalışmada, çözümün yakınsama kriterlerine uyması, CFD modellemesinde çok önemlidir. Paket programda temel denklemlere ait cebirsel eşitliklerin her birinin nümerik çözümü, bir artık değer içerir. Bu artık değer, kontrol hacmi içindeki bütün hücreler için hesaplanan eşitliklerdeki artıkların toplamıdır.

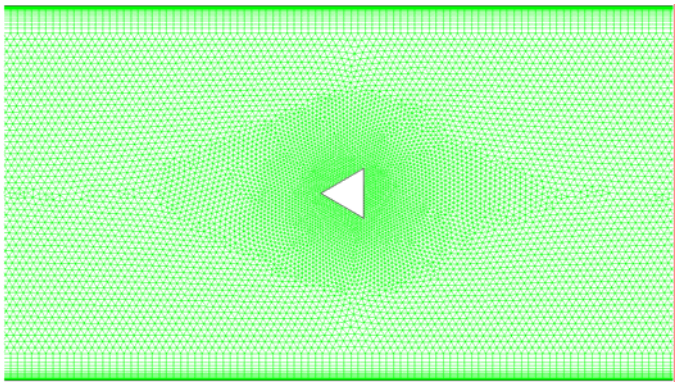
Analizlerde yakınsanma kriteri enerji için 10^{-7}, diğer bütün değişkenler için 10^{-5} olarak seçilmiştir. Bu denklemlerinin yakınsanma değerleri yukarıda ifade edilen değerlerin altında olduğu zaman, programın temel denklemlere ait cebirsel denklemleri, nümerik olarak doğru çözdüğü kabul edilmiştir.

4.6. Ağ Yapısı ve Bağımsızlığı

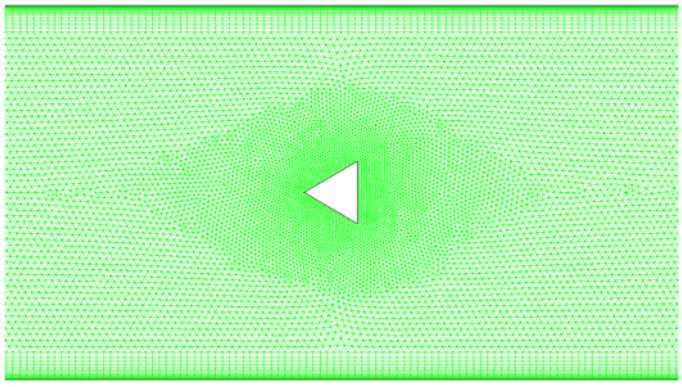
Üç farklı boyutta tek üçgen ve üst üste üçgenlerin üç farklı boşluk oranı dahil olmak üzere toplam on iki düzenleme için Gambit programı kullanılarak oluşturulan ağ (grid) yapısı, çalışılan bütün düzenlemeler için Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'de gösterilmiştir.



(a)

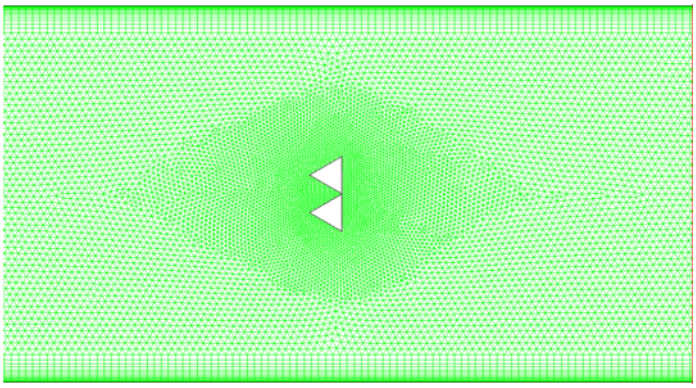


(b)

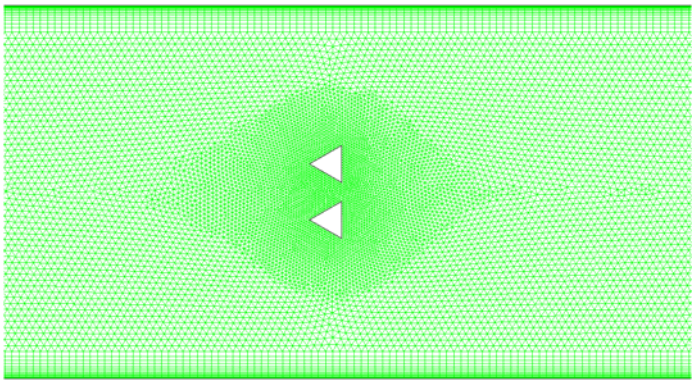


(c)

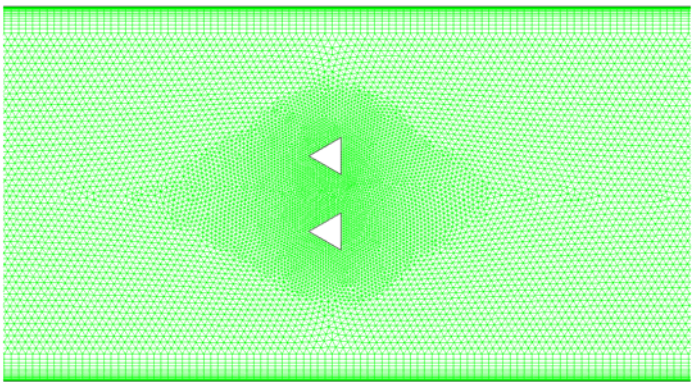
Şekil 4.1. Tek üçgenlere ait ağ yapıları, (a) B=15 mm, (b) B=20 mm, (c) B=25 mm.



(a)

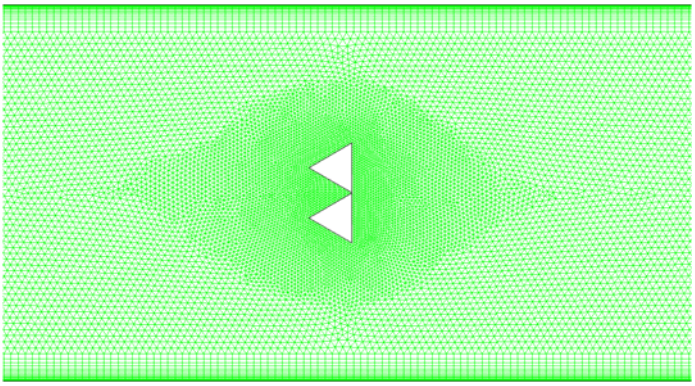


(b)

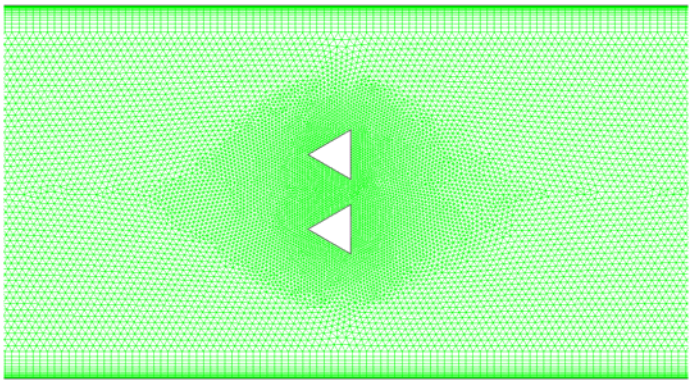


(c)

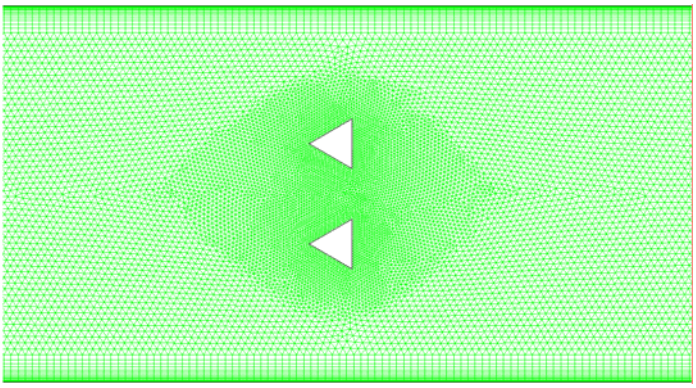
Şekil 4.2. B=15 mm durumu için üst üste üçgenlere ait ağ yapıları, (a) W/B=0, (b) W/B=0.5, (c) W/B=1.



(a)

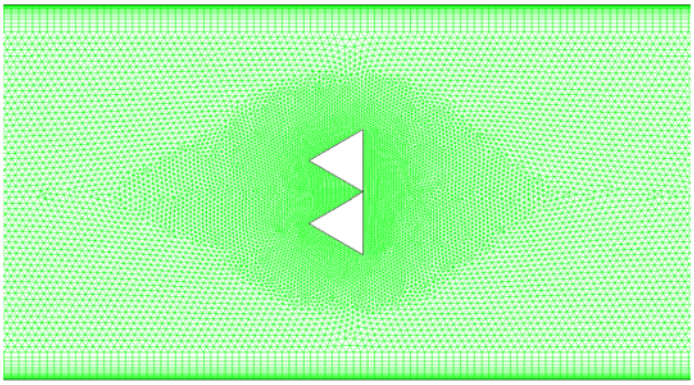


(b)

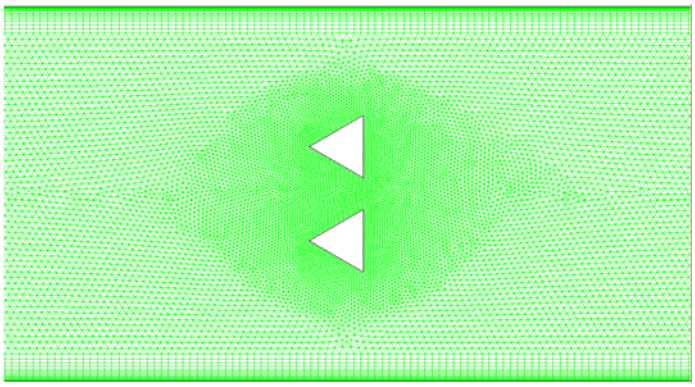


(c)

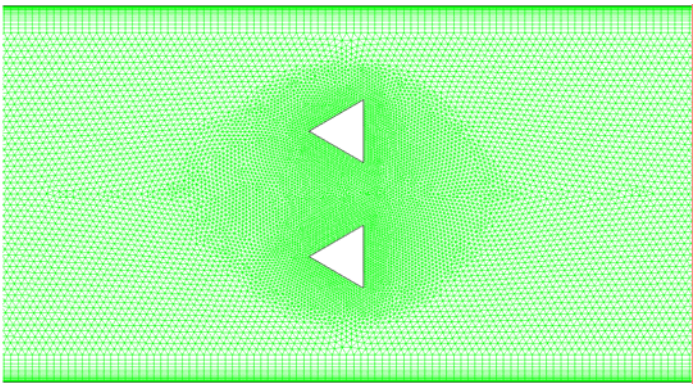
Şekil 4.3. B=20 mm durumu için üst üste üçgenlere ait ağ yapıları, (a) W/B=0, (b) W/B=0.5, (c) W/B=1.



(a)



(b)

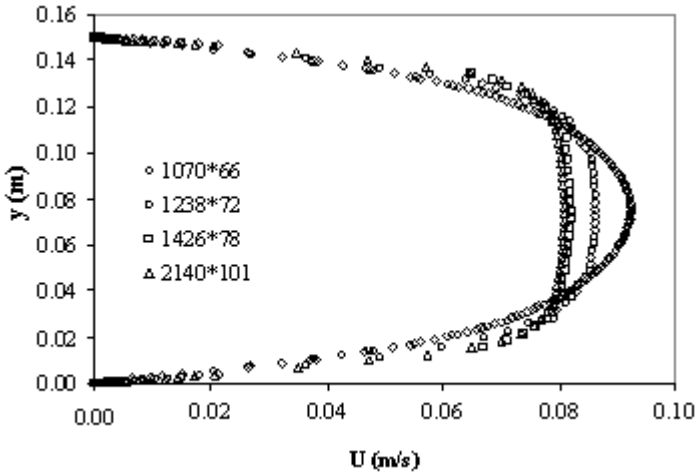


(c)

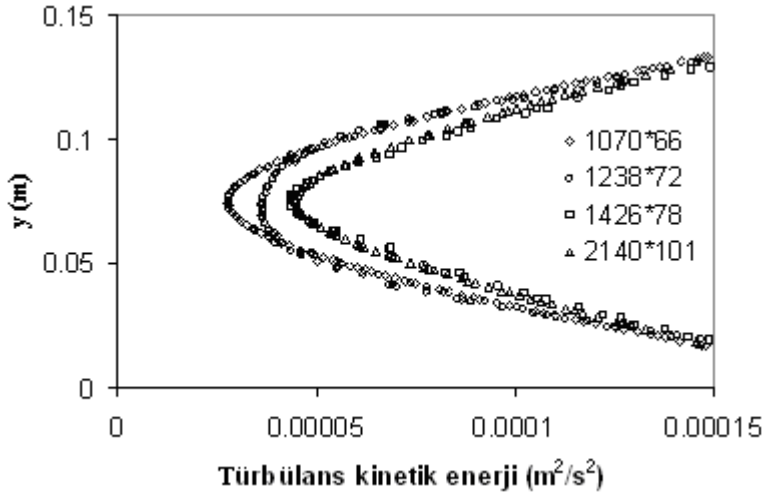
Şekil 4.4. B=25 mm durumu için üst üste üçgenlere ait ağ yapıları, (a) W/B=0, (b) W/B=0.5, (c) W/B=1.

Ağ yapısının düzgün olması demek, kanal duvar yakınlarında oluşan sınır tabakaların, büyük gradyan bölgeleri oluşturmasından dolayı, hücreden hücreye geçişlerde, akışkan değişkenlerindeki değişimi minimize edecek şekilde ağ yapısının oluşturulması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla ağ yapısındaki elemanlar doğru sonucu verecek kadar küçük olmalıdır.

Böylece yaptığımız çalışmada, çözümün ağ yapısından bağımsızlığını göstermek üzere 4 farklı ağ yapısı oluşturulmuş, karşılaştırma için, elde edilen x yönündeki radyal hız değişimleri ve türbülans kinetik enerji değişimi sırasıyla Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir. x/L= 0.5 konumda belirlenen hız değişimlerine göre, 1070*66'lık ağ yapısı çözüm için yeterli olmamıştır. Bu çalışmada kullandığımız 1426*78 'lik ağ yapısındaki hız değişimi, 2140*101'lik ağ yapısındaki hız değişimiyle benzerlik göstermiştir. Bu yüzden hücre sayılarının bundan sonraki artışında bir farklılık görülmediği için 1426*78'lik ağ yapısı tercih edilmiştir.



Şekil 4.5. Farklı ağ yapılarına ait hız değişimi.

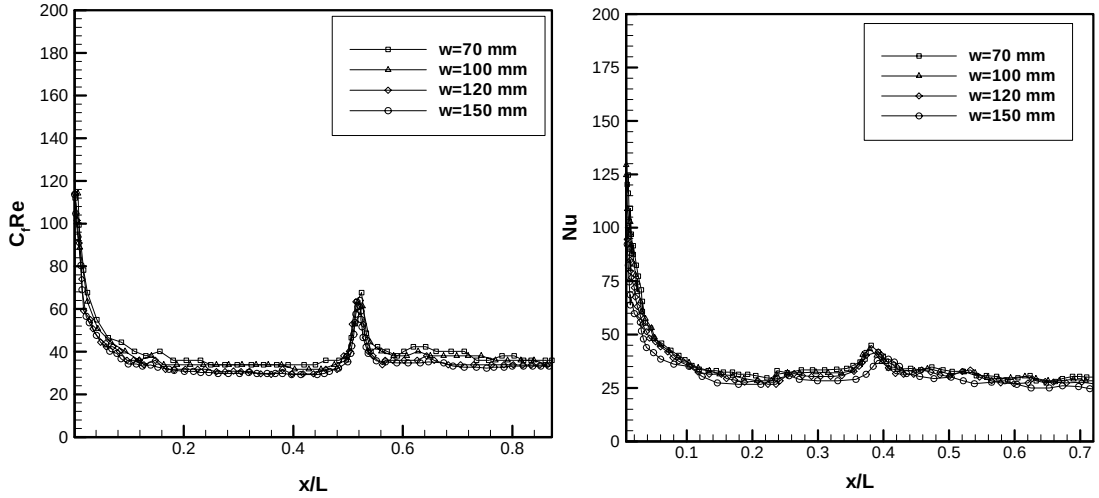


Şekil 4.6. Farklı ağ yapılarına ait türbülans kinetik enerji değişimi.

4.7 Kanal Genişliğinin Isı Transferi ve Akış Karakteristikleri Üzerine Etkisi

Bu tip problemlerde, çalışmaların en önemli noktası sistemdeki değişkenlerin farklı değer aldıklarında,sistem ile çevre elemanlar arasına ısı alış verişinin artış oranının belirlenmesidir. ısı transferini arttırmada en çok başvurulan "pasif yöntem" 'den de bilineceği üzere sistemdeki ısıtransferi incelenirken sistemde sürtünme çarpma ve vb. etkilerden ortaya çıkacak olan basınç kayıpları önemlidir. Buradan da anlaşılacağı gibi kanal genişliği büyük boyutlu sistemlerde sistem performansını dikkate alınır boyutta etkilemektedir.

Isı transferinde akış karakteristiklerini ve kanal genişliğinin ne derece öneme sahip olduğunu vurgulamnak ve yeterli kapasitede kanal (w=70 mm, 100 mm, 120 mm ve 150 mm) kullanarak deneyleri yapabilme adına ilk olarak değişik genişliklerde kanallar üç boyutlu olarak modellendi ve B=20 mm durumunda tek üçgen için sayısal olarak çözüldü. Modelleme yapılırken bölüm 4.6.da açıklanan ağ yapısı ve bağımsızlığı dikkate alınmış olup iki boyutlukabul edilerek kabul edilerek yapılmış olan sayısal çözüm prosedür ve sınır şartları üç boyutlu çözüm için de uygulanmıştır.



(a) (b)

Şekil 4. 7. B=20 mm d urumu için tek üçgene ait farklı kanal genişliklerinde, (a) alt yüzey boyunca sürtünme katsayısının değişimi, (b) alt yüzey boyunca Nusselt sayısının değişimi.

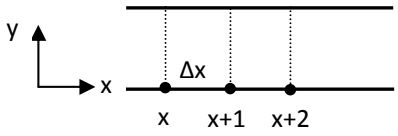
B=20 mm durumu için tek üçgene ait farklı kanal genişliklerinde alt yüzey boyunca sürtünme katsayısının ve yine alt yüzey boyunca Nusselt sayısının değişimleri Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Nusselt sayısı ve yüzey sürtünme katsayısı üç boyutlu çözüm neticesinde X-Z düzleminin düşeyde orta noktasındaki yüzeyde (x mesafesi boyunca) hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi, dört değişik kanal genişliğine göre sayısal değer olarak birbirlerine çok yakın olmalarının yanı sıra sürtünme katsayısının trendi bütün kanal genişlikleri için neredeyse birbirinin aynısıdır. Benzer durum Nusselt sayısı için degeçerlidir. Tablo 4.1'de farklı kanal genişlikleri (w=70 mm, 100 mm, 120 mm ve 150 mm) için Nusselt sayısı ve sürtünme katsayısına ait değerlerin değişimi x/L=0.1, 0.3, 0.5 ve 0.7'de verilmektedir. Elde edilen sayısal sonuçlara göre, kanal genişliğinin farklı değerlerde kullanımı ısı transferi ve sürtünmede bariz farklılıklara yol açmadığı görülmüştür. Bundan dolayı, deneylerde ve sayısal çözümlerde kanal genişliği w=100 mm olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. 1. B=20 mm d urumu için tek üçgene ait farklı kanal genişliklerinde Nusselt sayısı ve sürtünme katsayısına ait değerler.

x/L	0.1	0.3	0.5	0.7		0.1	0.3	0.5	0.7	x/L
Nu	36.82	33.44	32.77	30.06	**w=70 mm**	41.16	33.82	46.51	40.16	C_fRe
	35.43	32.21	31.42	28.87	**w=100 mm**	38.94	33.82	47.85	38.05	
	35.13	30.4	30.41	27.7	**w=120 mm**	36.94	30.59	49.02	35.82	
	35.13	28.81	30.06	26.01	**w=150 mm**	35.24	29.77	43.67	34.25	

4.8. Isı Transferi ve Yüzey Sürtünme Katsayısı Hesabı

Herhangi bir kesitteki yerel ısı transfer katsayısı h(x)'in hesaplanabilmesi için, Δx uzunluğundaki ısıtılmış boruya enerji dengesi,



$$\dot{m}.c_p(x).\left[T_{(x+1)} - T_{(x-1)}\right] = h(x).\left[T_w(x) - T_b(x)\right]2\Delta x \tag{4.20}$$

şeklinde uygulanır. Buradan yerel ısı transfer katsayısı h(x),

$$h(x) = \frac{\dot{m}.c_p(x).\left[T_{(x+1)} - T_{(x-1)}\right]}{\left[T_w(x) - T_b(x)\right]2\Delta x} \tag{4.21}$$

şeklinde hesaplanır. Burada $\dot{m}$ suyun kütlesel debisini temsil etmektedir ve

$$\dot{m} = \rho U_m A \tag{4.22}$$

Denklem 4.22 ile hesap edilir. U_m akışkanın ortalama hızını ve A kanal kesit alanını göstermektedir.

$$U_m = \frac{1}{L}\int_0^H U dy \tag{4.23}$$

Denklem 4.20 ve 4.21'de, c_p akışkanın sabit basınçta özgül ısısını temsil etmekte ve ortalama akışkan sıcaklığına (T_b) göre hesap edilmiştir. Kanal kesit alanı boyunca ortalama akışkan sıcaklığı $T_b(x)$ Denklem 4.24'te verilen eşitlikle hesaplanmıştır.

$$T_b(x) = \frac{1}{U_m A}\int_0^H [T.U.dA]_x \tag{4.24}$$

Sonuç olarak, yerel ve ortalama Nusselt sayısıları sırasıyla Denklem 4.25 ve 4.26 ile hesap edilir.

$$Nu_x = \frac{h(x)D_h}{k_b} \tag{4.25}$$

$$Nu = \frac{1}{L}\int_0^L Nu(x).dx \tag{4.26}$$

Denklem 4.25'te k_b ortalama akışkan sıcaklığına (T_b) göre hesaplanan ısı iletim katsayısıdır. D_h hidrolik çapı temsil etmekte olup kanala giren akışkanın tam gelişmiş hız profiline sahip olduğu kabulüyle Reynolds sayısı,

$$\mathrm{Re} = U_m D_h / \nu \tag{4.27}$$

olarak verilmektedir. Burada ν akışkanın kinematik viskozitesidir. Yüzey sürtünme katsayısı ise,

$$C_f = \frac{\tau}{\frac{1}{2}\rho U_m^2} \tag{4.28}$$

olarak elde edilir. Burada ρ akışkanın yoğunluğunu ve τ kayma gerilmesini göstermektedir.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \tag{4.29}$$

μ akışkanın dinamik viskozitesini temsil etmektedir. Sürtünme katsayısı aşağıda sunulmuştur.

$$f = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho U_m{}^2 \frac{L}{D_h}} \tag{4.30}$$

5.BÖLÜM

DENEYSEL VE SAYISAL SONUÇLAR

5.1. Giriş

Tezin bu bölümünde, yapılan deneylerden ve belirlenen sayısal çözüm metodu ile elde edilen çıktılar incelenmiş ve irdelenmiştir. Kanal içerisine yerleştirilen eşkenar üçgen küt cisimlerin önlerinde, üstlerinde-altlarında ve arkalarında meydana gelen akış olayları deneysel olarak incelenmiş, deneysel yöntem ile sayısal yöntem arasında doğru ve yeterli düzeyde örtüşme sağlandıktan sonra aynı elemanların muhtelif bölgelerinde ve kanalın tamamında meydana gelen ısı transferi hadisesi sayısal olarak incelenmiştir.

Kanalda akış ortamına yerleştirilen eşkenar üçgen kesitli blokajlardan farklı kenar uzunluklarına sahip olan üç tanesi (B=15 mm, B=20 mm ve B=25 mm) önce tek başlarına yerleştirildikten sonra, bu üçgenlerden kenar uzunluğu eşit olanlar üst üste gelecek şekilde üç farklı boşluk oranında (W/B=0, W/B=0.5 ve W/B=1) yerleştirilmişlerdir. Bu düzenlemeler neticesinde oluşan toplam on iki konfigürasyon için akış ve ısı transferi karakteristikleri Reynolds sayısının üç farklı değeri (Re=5.000, Re=7.500 ve Re=10.000) için belirlenmeye çalışılmıştır.

Üçgen küt cisimlerin akış karakteristiklerini belirlemede yardımcı olacak çıktılardan ortalama yatay hız dağılımları, hız vektörleri, akım çizgileri ve Strouhal sayısı değişimleri sunulmuştur. Isı transferi karakteristiği analizlerinde kullanılmak üzere, bütün düzenleme ve akış şartları için sıcaklık kontürleri, alt duvara ait Nusselt sayısı değişimleri, alt duvar boyunca yüzey sürtünme katsayısı değişimleri, ortalama Nusselt ve yüzey sürtünme katsayılarının Reynolds sayıları ile değişimleri paylaşılmıştır.

5.2. Sayısal ve Deneysel Hız Dağılımları

Sunulan tez çalışması kapsamında kanal içerisine tek tek ve eşit kenar uzunluğuna sahip elemanların ikili kombinasyonları ile oluşturulan on iki adet düzenleme ve her bir düzenleme için üç farklı Reynolds sayısı ve üç farklı boşluk oranı için yapılmış olan toplam 36 farklı durum için elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Hem sayısal hem de deneysel çalışma sonucunda elde edilmiş olan farklı x/L' ler için kanal kesitindeki yatay hız dağılımları Şekil 5.1 -Şekil 5.36 arasında verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi deneysel sonuçlarla sayısal çalışmalar sonucunda elde edilmiş olan değişik x/L' lerdeki kanal kesitindeki hız dağılımları iyi bir uyum göstermiştir. Farklı x/L' lerdeki hız dağılımları sunulurken, akışkanın kanal içinde küt cisimlerden önce, küt cisimlerle karşılaştığında ve bu cisimleri geçtikten sonra hızın nasıl değiştiği hakkında daha kapsamlı bilgi edinebilmek için test bölgesinde x mesafesi boyunca (0-320 mm) 6 farklı noktada hız dağılımı her bir konfigürasyon arı ayrı incelendi. Test bölgesinin başlangıcı ve sonu dahil olmak üzere altı farklı x/L mesafesini gösteren doğrular (l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6) 3. bölümde Şekil 3.3c'de ayrıntılı olarak sunulmuştur. Çok noktalı akış görüntüleme tekniği (multiple point particle visualization technique) kullanılarak yapılan deneylerin tamamına ait sayısal çözümler yapılarak deneysel sonuçlarla birlikte sunuldu. Sunulan yatay hız dağılımı grafiklerinden de anlaşılacağı üzere bütün durumlarda akışkan test bölgesi girişinde gelişmiş akış hız profiline sahiptir.

Kanal içerisine eşkenar üçgen kesitli elemanların düzenlenme biçimlerine bağlı olarak girişte gelişmiş yapıya sahip olan hız profili küt cisimlerle ilk karşılaşma anı ve konumundan itibaren geçerli olmak üzere hız profili değiştirmektedir. Akışkan cisimlerle ilk karşılaştığında temasın olduğu nokta ya da noktalarda hız sıfır olmakta, ancak bu noktalar haricinde profilini korumaktadır. Cisimlerin tam arkasında iz bölgesi yüksekliği muadili kısım hız dağılımı grafiğinde x=0 doğrusu üzerinde yer almaktadır. Akışkan cisim ya da cisimleri de geçtikten sonra x yönünde ilerlerken eksende değeri sıfır olan hız pozitif değerler almaya başlar. Test bölgesinin sonuna doğru bu değer gittikçe yükselir. Öyle ki, akış neredeyse tamamen gelişerek girişteki profilini yakalar. Yukarıdaki açıklandığı gibi

cereyan eden hız profili değişiminde hiç kuşkusuz en önemli faktör art iz bölgesi ve Reynolds sayısıdır.

Üçgen elemanların tek yerleştirilmeleri durumunda akışkanın cisimlere temasın olduğu noktada (x/L=0.12, y=75 mm) sıfırdır. Çünkü bu nokta akışkanlar dinamiğinde durma noktası olarak adlandırılan noktadır. Bu noktadan itibaren akışkan karşılaştığı cismin geometrisine bağlı olarak yön değiştirir ve yoluna devam eder. L_3 doğrusu üzerinde yani cisimlerin tam arkasında cisimlerin art yüksekliği muadili bölgede hız beklenildiği gibi sıfır olmaktadır. Çünkü, cisimlerin hemen arkasında hız vektörlerinin değeri sıfırdır. Aynı doğru üzerinde fakat düşeyde diğer noktalarda hız bir miktar artarak girişteki değerinden daha yüksek olmaktadır. Bu davranış akışın ikiye bölünüp her iki kolunun da daha dar bir kesitten geçmesi ile ilgilidir. Şekil 5.1-9 incelendiğinde, l_3 doğrusundaki hızın sıfır olduğu bölge l_4 doğrusu üzerinde sıfırdan farklı pozitif değerler almaktadır. Çünkü, bu mesafede art iz bölgesindeki hız vektörleri cismin altında ve üstünden gelen akışkanla bağlantı kurmaktadır. Yeniden tutunma olayından dolayı bu bölgede hız vektörleri pozitif değerler almaya başlamaktadır. L_4 doğrusundan daha ileride yani artan mesafe ile daha kolay yeniden tutunmalar gerçekleşebileceği için l_5 doğrusu boyunca hız profili giriştekine biraz daha yakın, test bölgesinin sonunda yani l_6 doğrusu boyunca elde edilen yatay hız dağılım profilleri giriştekiyle neredeyse aynıdır.

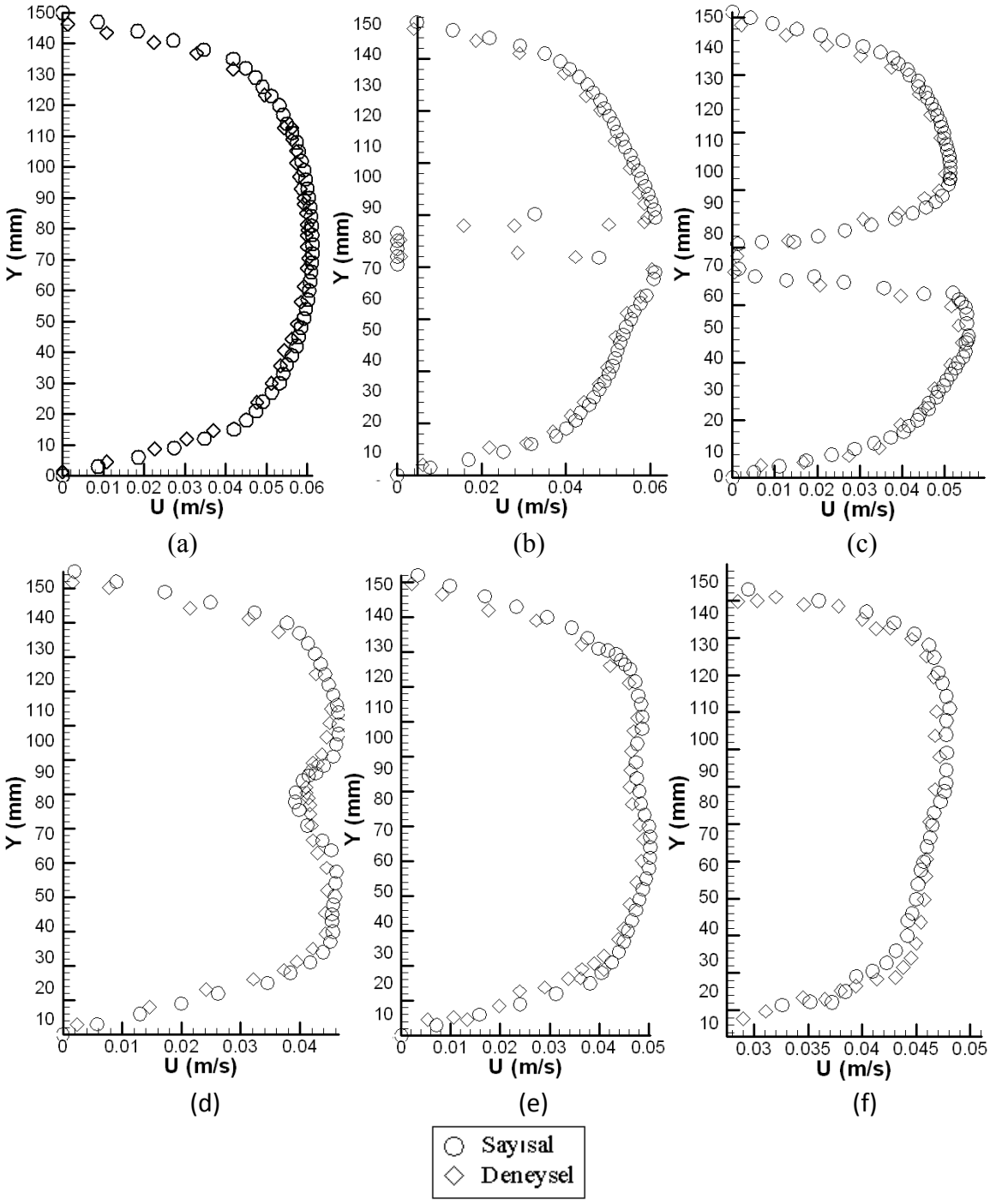
Tek üçgen düzenlemesinde üç durum karşılaştırıldığında B=15 mm kenar uzunluğuna sahip üçgende art iz bölgesi yüksek olduğu için iz bölgesi akışının gelişme hızı artan Reynolds sayısıyla umulduğu gibi azalmaktadır. Yani B=15 mm için Re=5.000'de iz bölgesi akışı daha hızlı gelişmekte, Re=7.500'de biraz daha yavaş, Re=10.000'de daha yavaş gelişmektedir. Benzer şekilde, B=20 mm olması durumunda cisim arka bölge yüksekliği arttığı için iz bölgesi toparlanması B=15 mm durumuna göre daha yavaş, B=25 mm durumuna göre ise daha yüksektir. Ancak, iz bölgesi akış hızının gelişmesinde B=20 ve B=25 mm durumlarının Reynolds sayısı ile sergilediği ilişki B=15 mm durumundaki ile aynıdır.

Üçgen kesitli küt cisimlerin farklı blokaj oranlarında üst üste yerleştirilmeleri durumunda davranış temelleri aynı olmakla birlikte tek üçgen yerleşimlerinden farklılıklar göstermektedir. W/B=0 yani boşluk olmadığı durumda durma noktasında her iki üçgenin uç noktalarında hızlar sıfır olmakta iken, uç noktalar arasında hızın değerinde bir miktar artış gözlenmiştir. Burada önemli hususlardan biri cisimler arasında boşluk akışı olmadığı için üçgen elemanlar bütünleşik bir davranış sergilemekte, sanki tek bir küt cisim varmış gibi davranmaktadırlar. Bu ise cisimlerin ardında daha geniş bir iz akış bölgesinin oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca, kanal duvarları ile cisimler arasındaki mesafe azalmasıyla meydana gelen dar kesit hızın değerini test bölgesi girişindeki değerinden tek üçgenlerde olduğundan daha fazla artırmaktadır. Öyle ki, hız da meydana gelen artış Reynolds sayısı ve geometriye bağlı olarak 0.01-0.03 m/s dolayında olmaktadır. Geometriye bağlı olarak meydana gelen artıştan kastedilen, B=15 mm için 30 mm, B=20 mm için 40 mm ve B=25 mm için ise 50 mm yüksekliğinde iz bölgelerinin oluşmasıdır. Tahmin edileceği üzere, 30 mm yüksekliğe sahip iz bölgesinde hız biraz artarken, 40 mm yükseklikte biraz daha artmakta ve 50 mm'de daha da artmaktadır. İz bölgesi yüksekliğindeki bu artışlar, bu bölgedeki akışın gelişme hızını ise ters yönde etkilemektedir. Kanal kenarı ve cisimler arasındaki davranışın tersine artan iz bölgesi yüksekliği ile geri bölgede akışın gelişme hızı azalmaktadır. Bir sıralama yapmak gerekirse; 50 mm iz bölgesi yüksekliği için en düşük gelişme hızı, 40 mm için biraz daha fazla, 30 mm için daha fazla olmaktadır. Bu sıralamaya tek üçgenler de dahil edilirse, en yüksek art iz bölgesi akışı gelişme hızının 15 mm yükseklik için elde edileceği aşikardır.

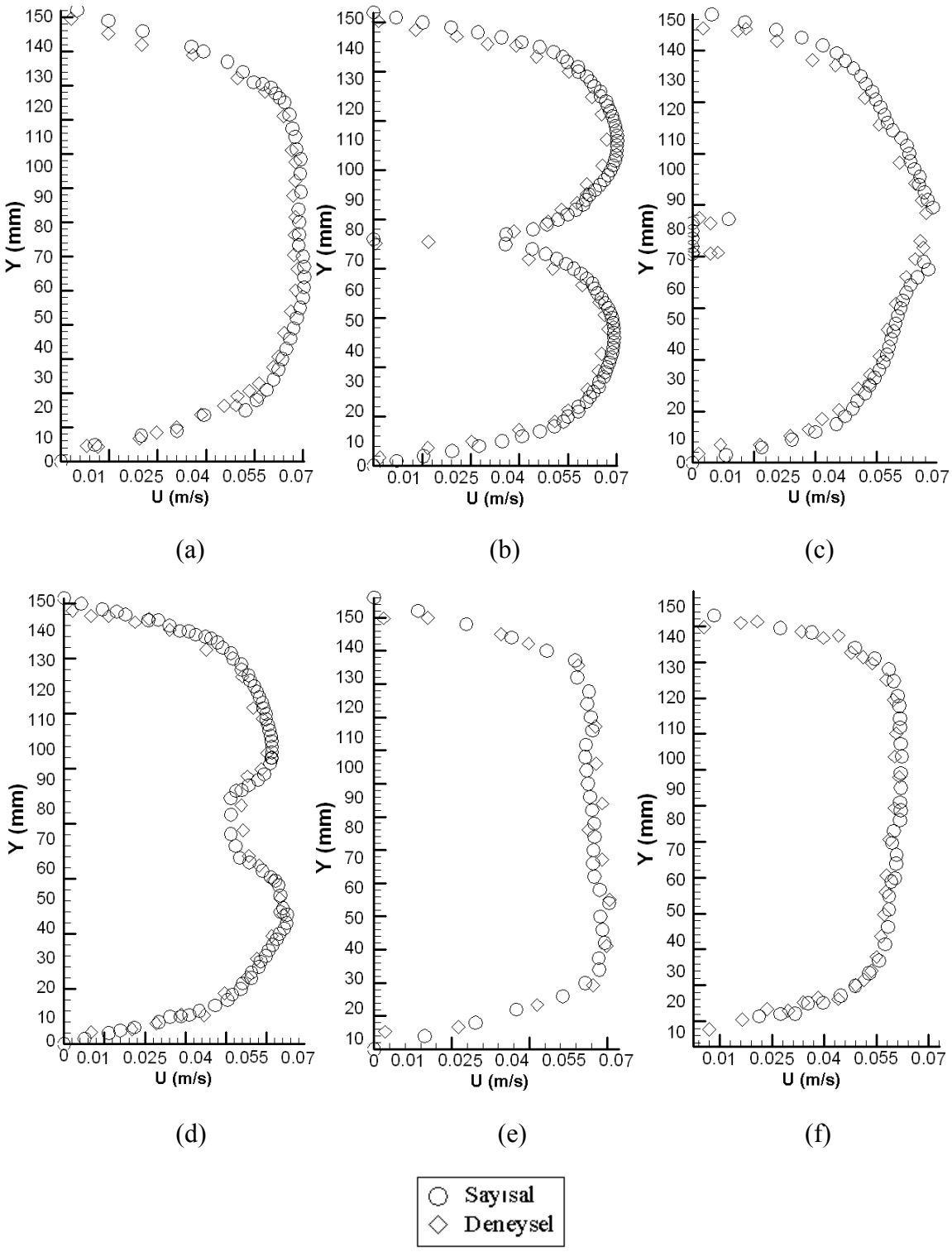
W/B=0.5 durumunda cisimler arasında boşluk olduğundan bu blokaj oranında boşluk akışı (gap flow) mevcuttur. L_2 doğrusu üzerinde durma noktalarında hız diğer düzenlemelerde olduğu gibi sıfırdır. Ancak uç noktalar arasında akışta itme (repulsion) meydana geldiğinden bu bölgede hız alt ve üst bölgedeki hız değerine yakın değerler almaktadır. L_3 doğrusu üzerinde cisimler arası mesafenin çok küçük olmasında dolayı tıpkı cisimlerle kanal cidarı arasında cereyan ettiği gibi akışkan daha dar bir kesitten geçmeye zorlanmakta, bu ise tam orta noktada (kanal ekseni üzerinde) hızın daha yüksek olmasına neden olmaktadır. Ayrıca, birbirinden boşluk akışı ile ayrılan cisimlerin arkasında iki ayrı iz bölgesi meydana gelmektedir. Cisimlerin hemen arkasında tek üçgenlerde olduğu gibi hız

sıfır olmaktadır. W/B=0.5 durumunda l_4 doğrusu üzerinde yatay hız dağılımları dikkatle incelendiğinde, birbirlerinden ayrı iki cisim arkasında sıfır olan hızın tutunma yardımıyla gelişme hız önceki durumlara göre daha yavaş olmaktadır. Bu durum test bölgesi sonunda (l_6 doğrusu) hızın test bölgesi girişindeki profilini tamamen yakalayamamasına yol açmaktadır.

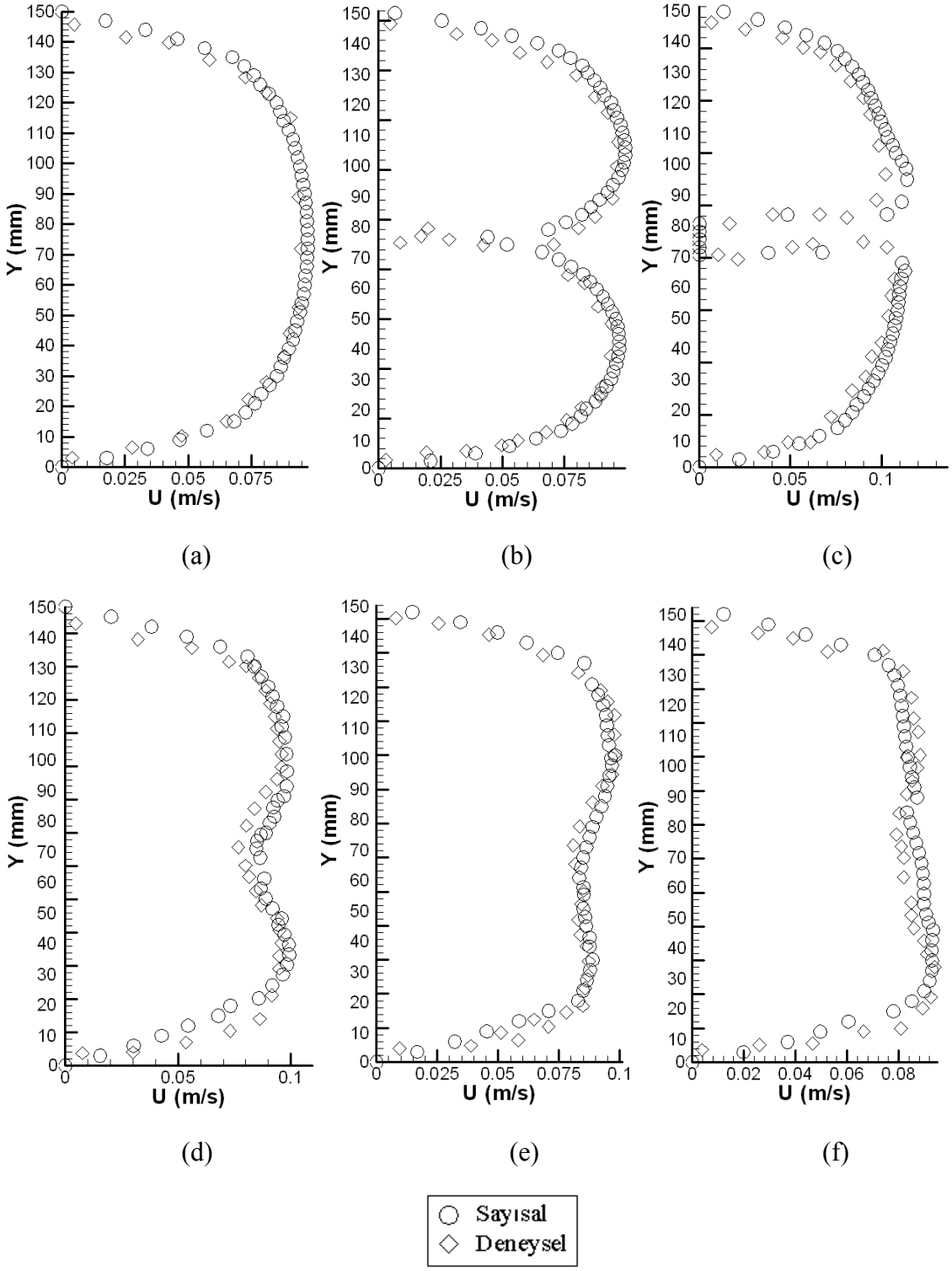
Küt cisimler arası mesafenin biraz daha artması durumunda (W/B=1) l_2 doğrusu üzerindeki yatay hız profilleri W/B=0.5 durumundakinden üst ve alt bölgelerdeki hız değerlerine biraz daha yaklaşması nedeniyle farklılık göstermektedir. L_3 doğrusu üzerinde yani cisimlerin hemen arkasında gözlenen davranış boşluk en küçük boşluk akış durumu (W/B=0.5) ile cisimlerin birbirinden bağımsız iki ayrı üçgen gibi davranmaları durumu arasındadır. Çünkü bu doğru üzerindeki yatay hız profilleri incelendiğinde ikisi birbirine benzeyen üçüncüsü (ortadaki) diğer ikisine benzeyen üç parça hız profili görmek mümkündür.



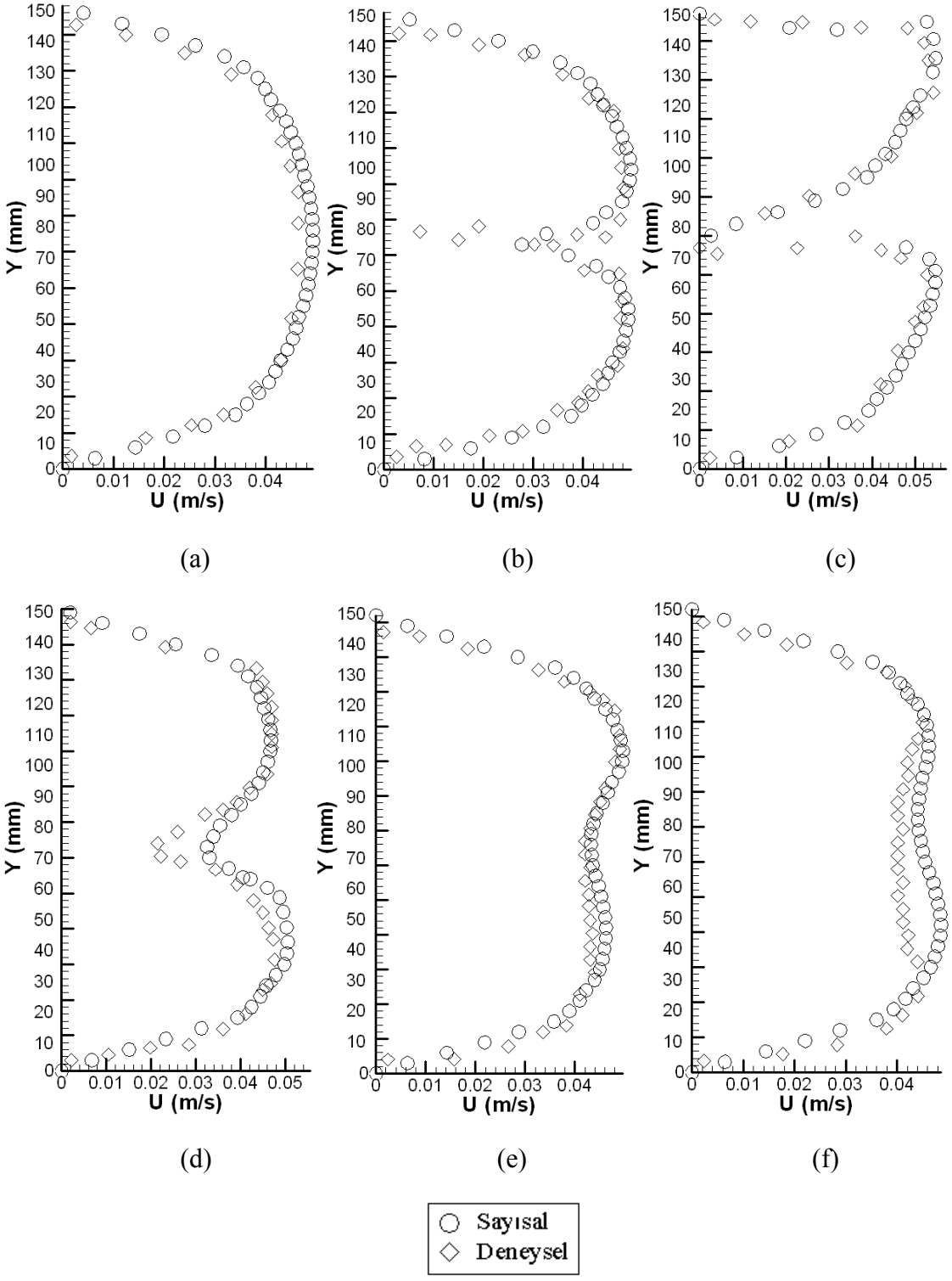
Şekil 5.1. B=15 mm Re=5.000 tek üçgene ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



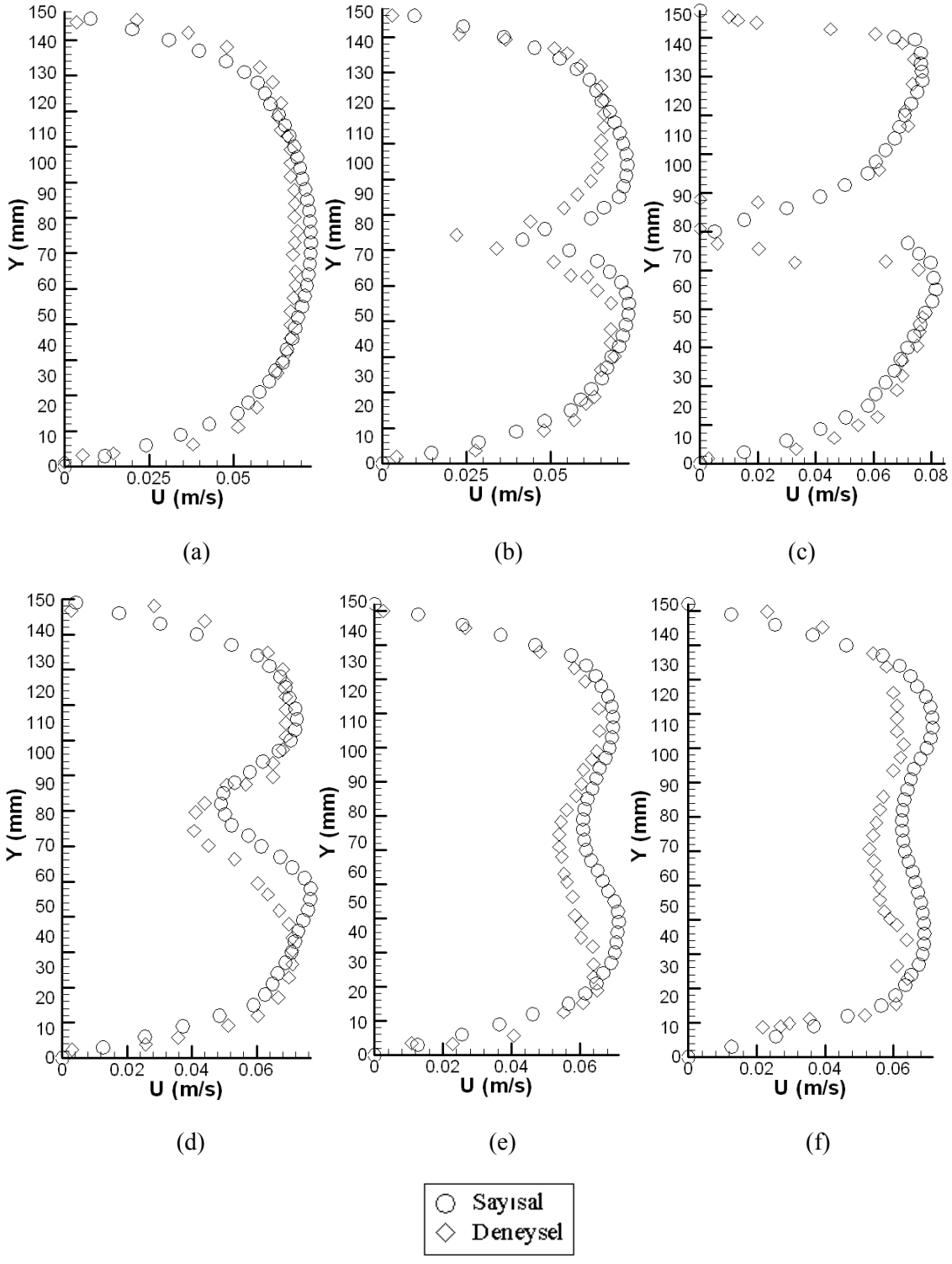
Şekil 5.2. B=15 mm Re=7.500 tek üçgene ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



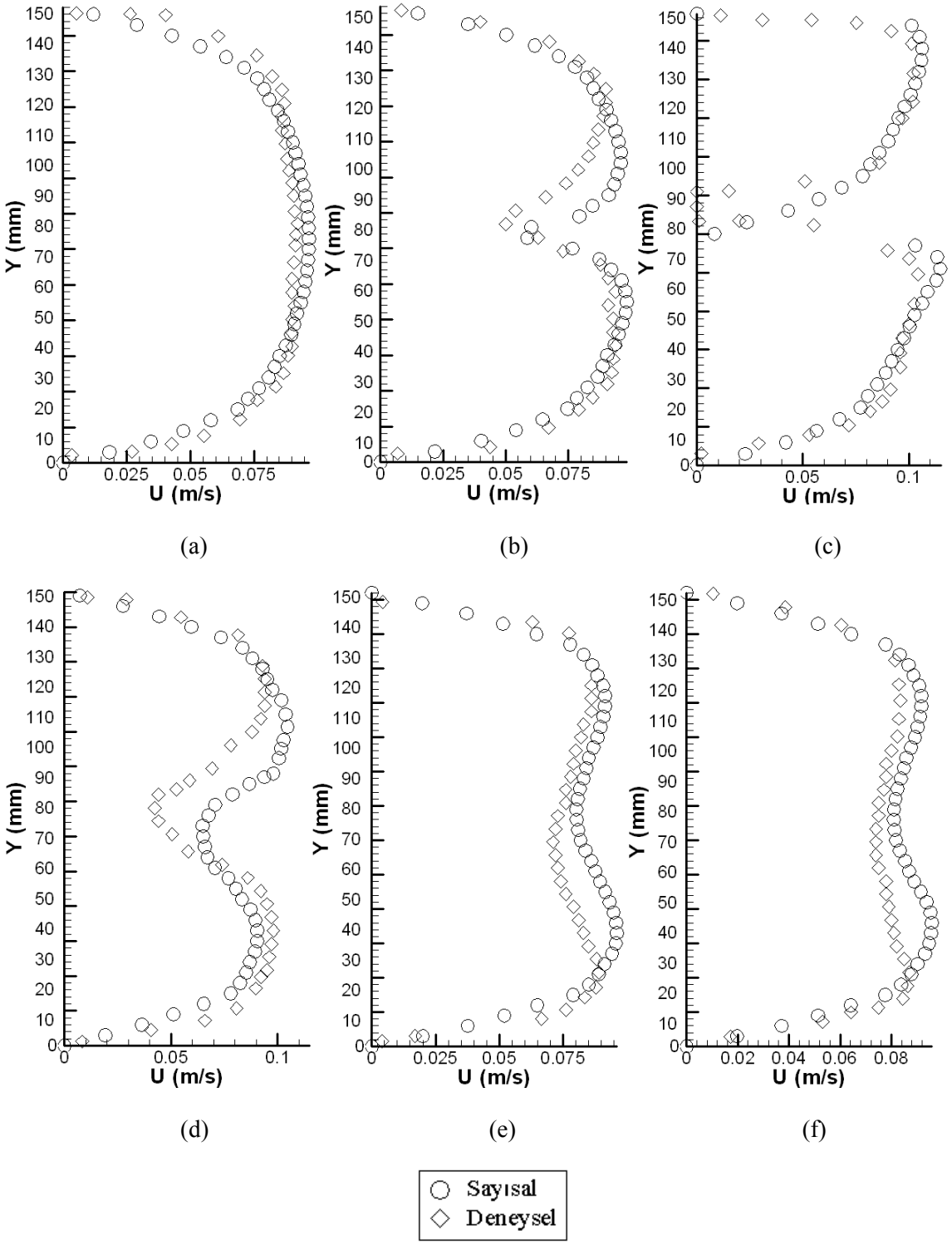
Şekil 5.3. B=15 mm Re=10.000 tek üçgene ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



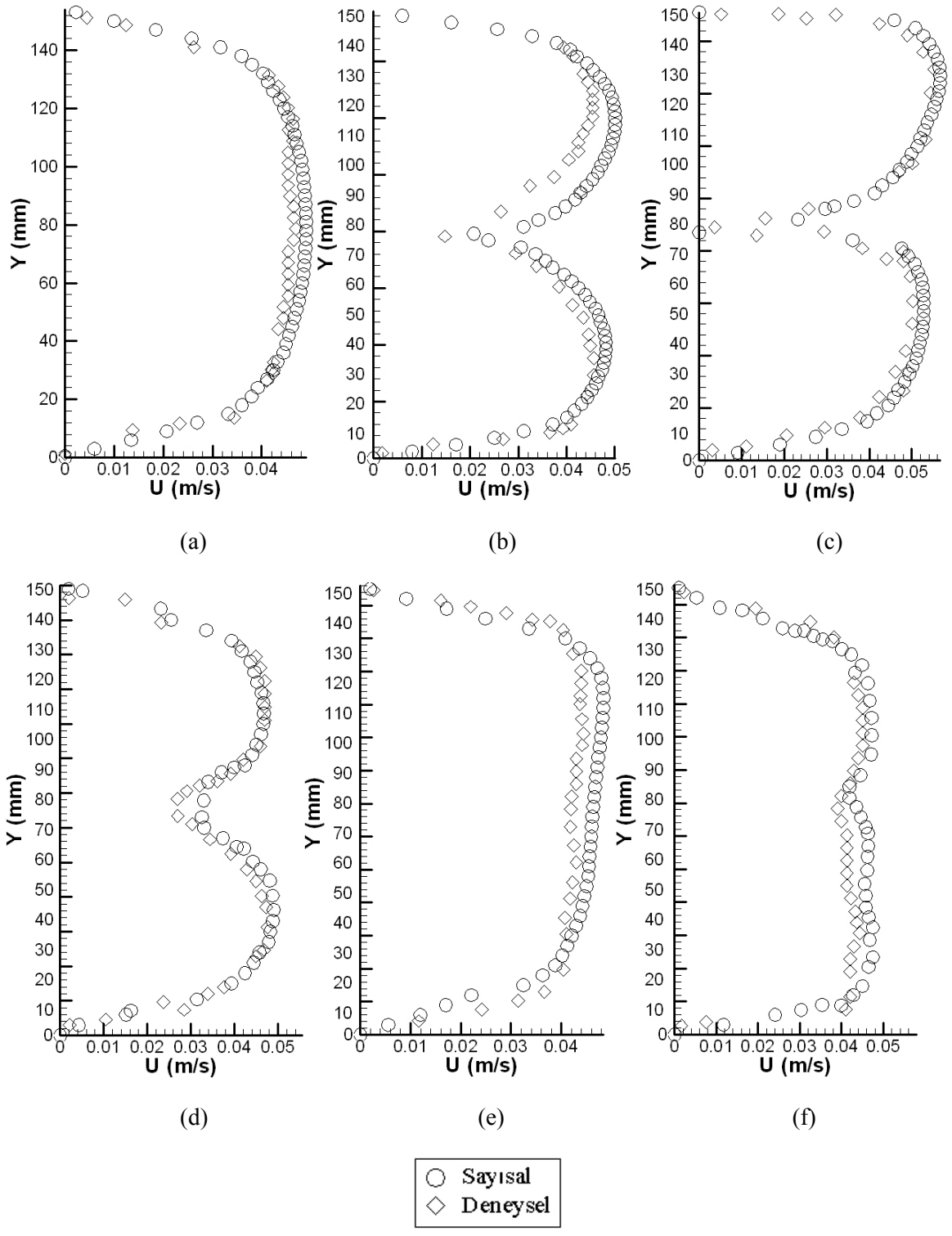
Şekil 5.4. B=20 mm Re=5.000 tek üçgene ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



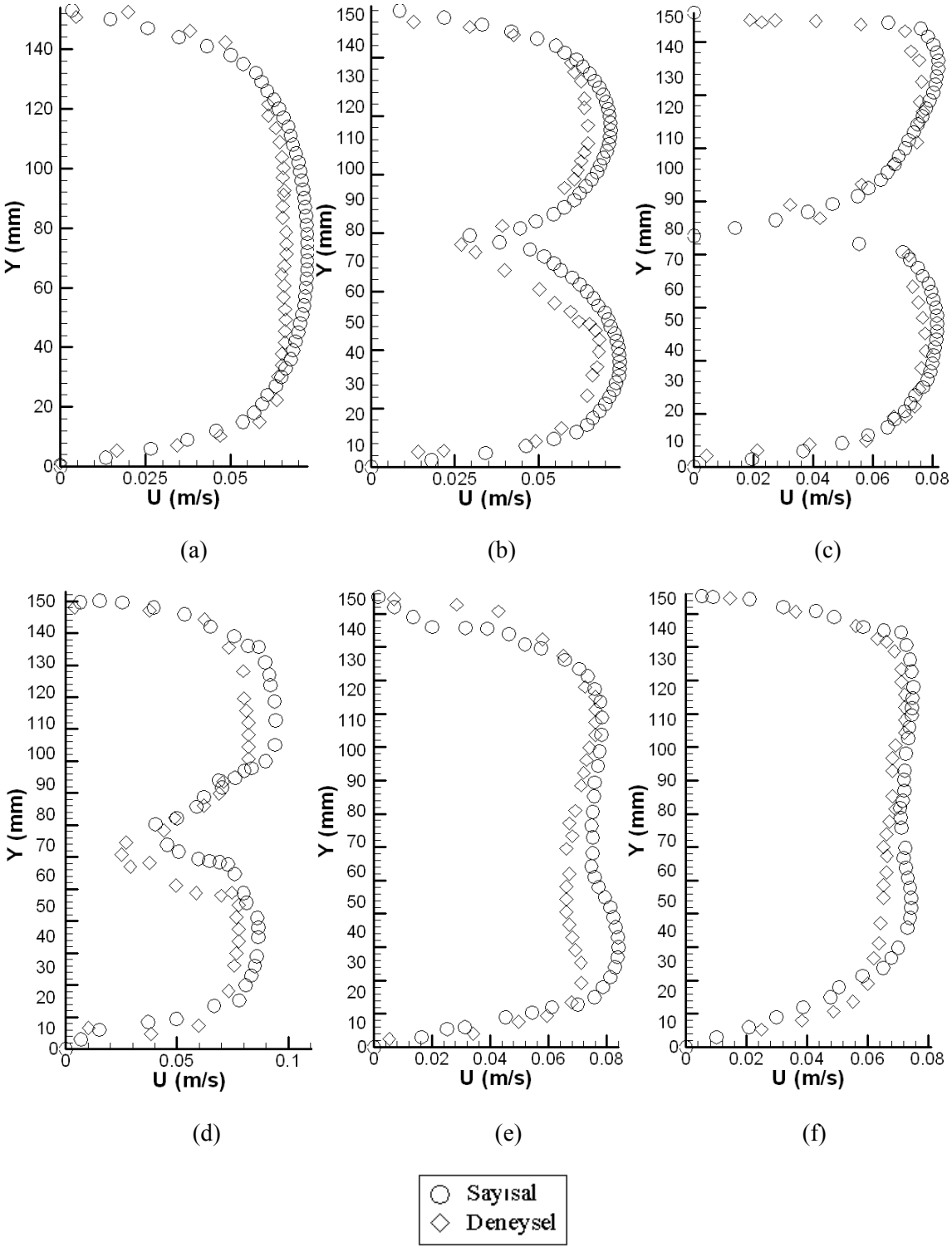
Şekil 5.5. B=20 mm Re=7.500 tek üçgene ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



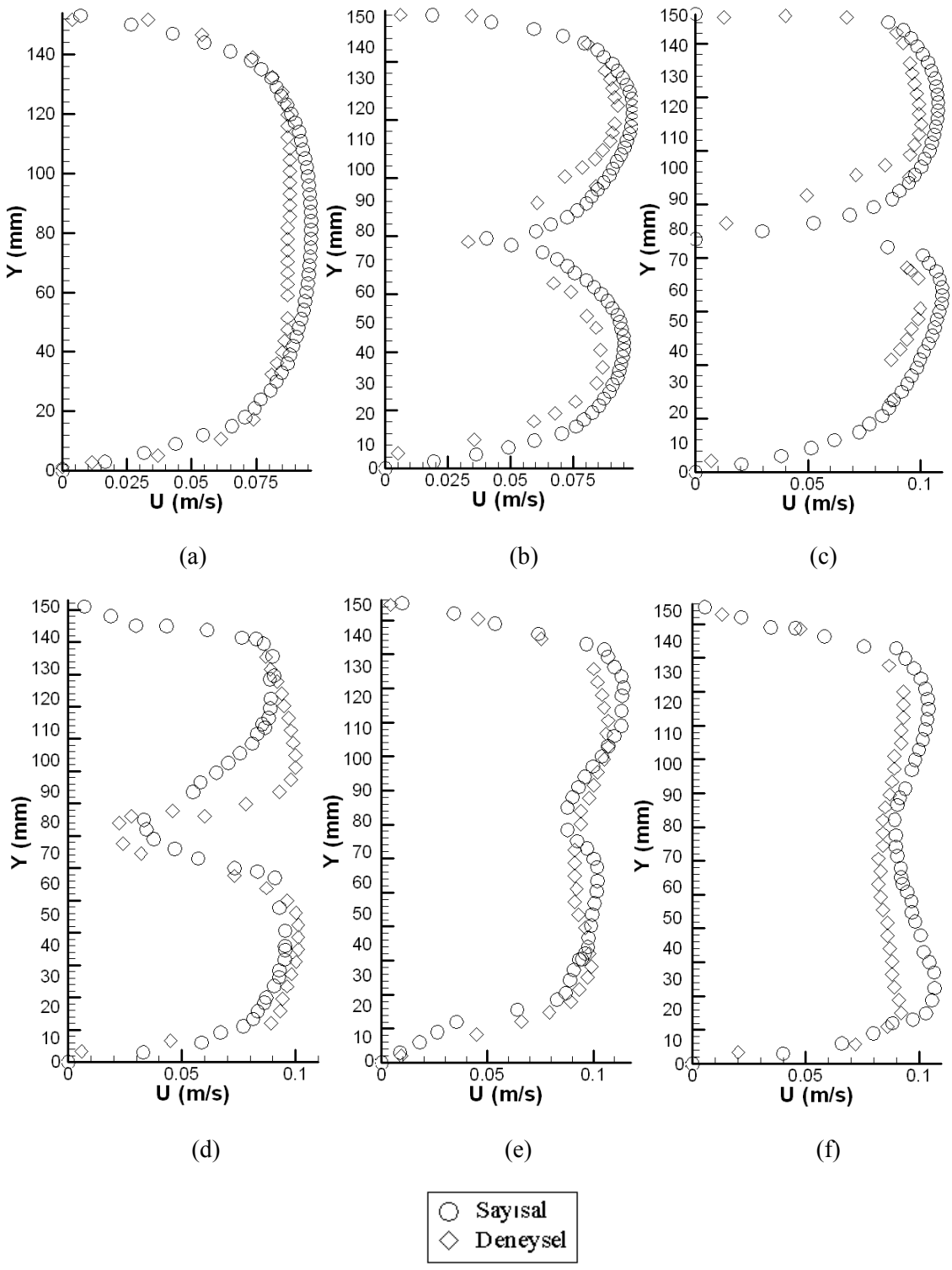
Şekil 5.6. B=20 mm Re=10.000 tek üçgene ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



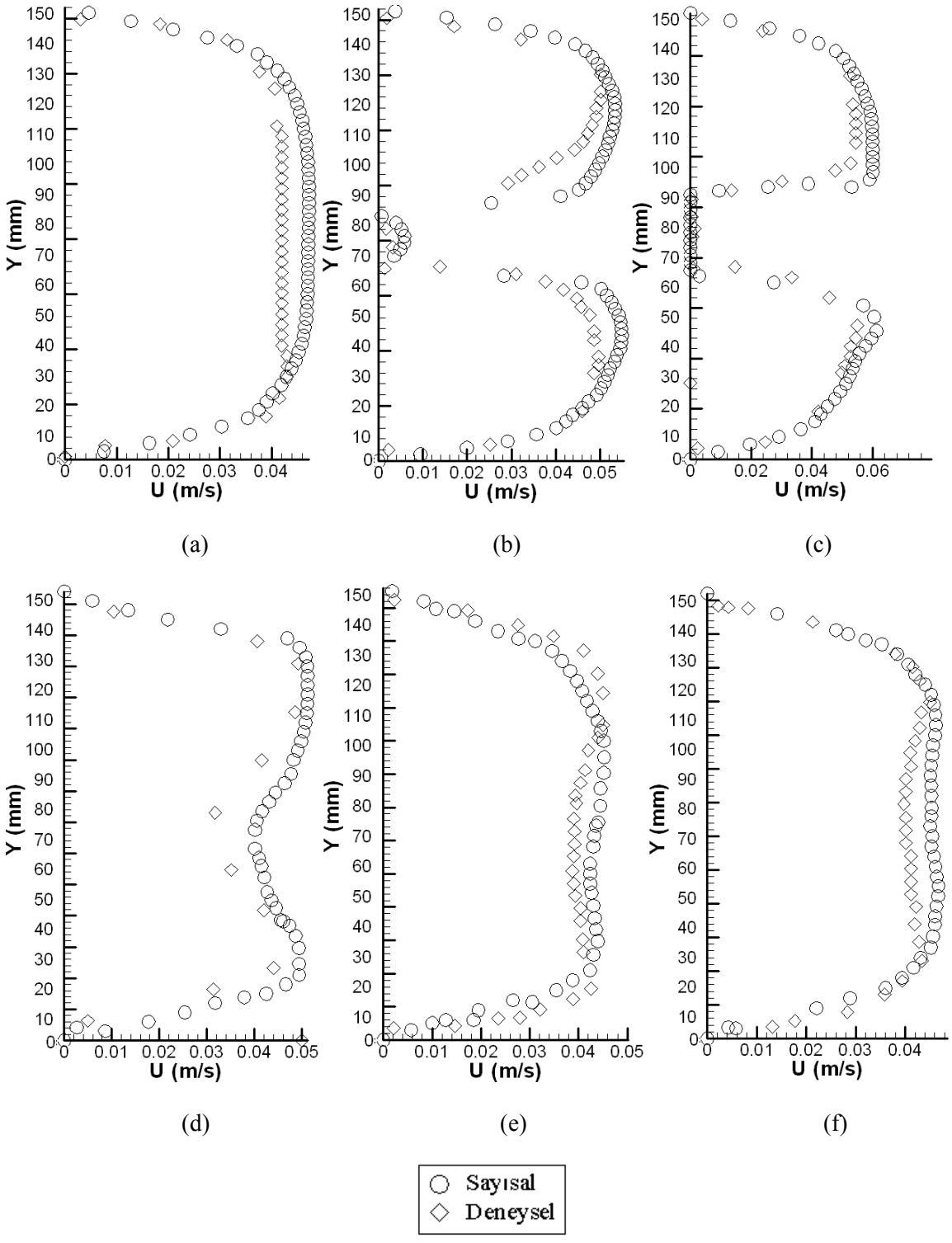
Şekil 5.7. B=25 mm Re=5.000 tek üçgene ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



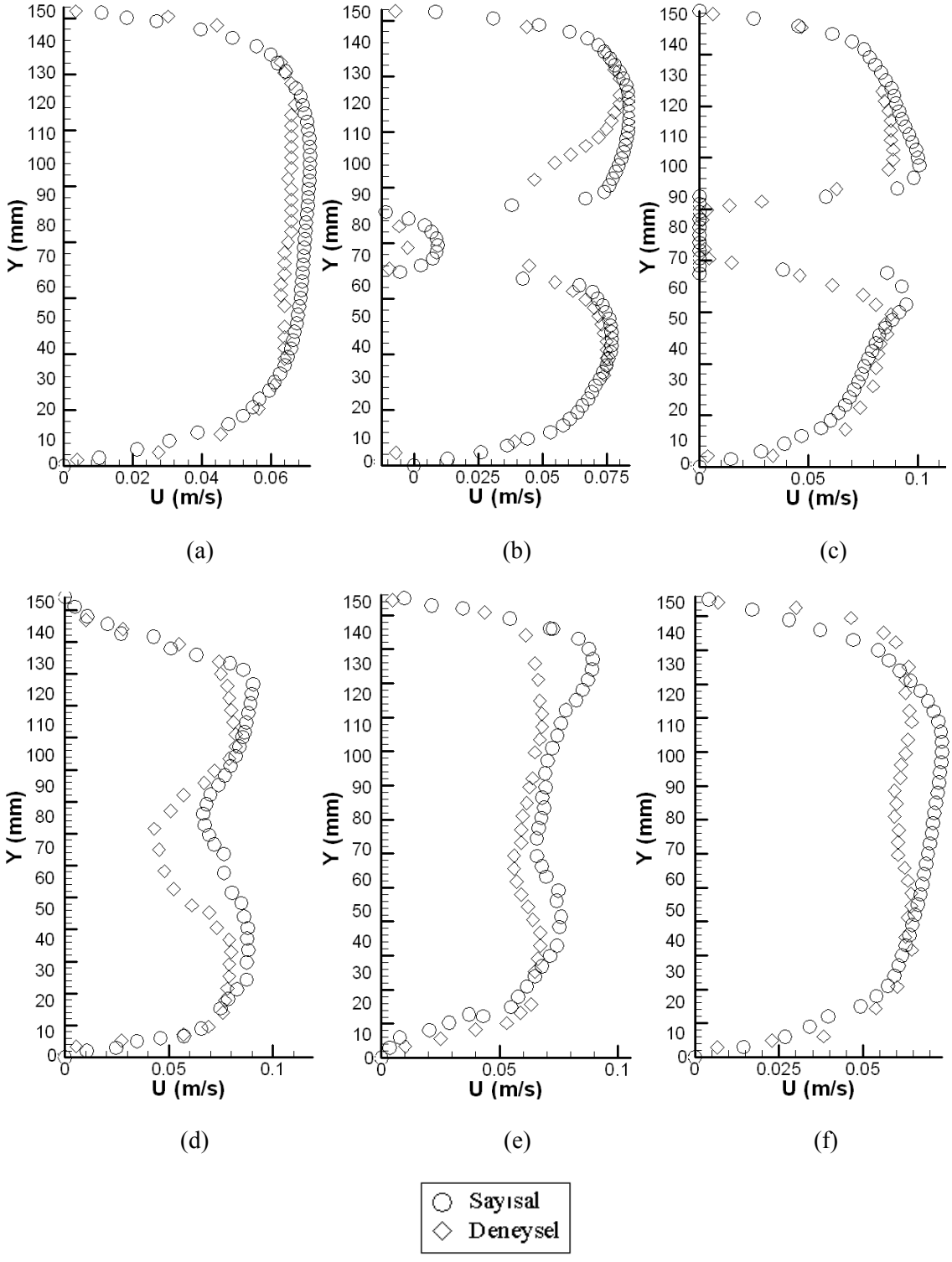
Şekil 5.8. B=25 mm Re=7.500 tek üçgene ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



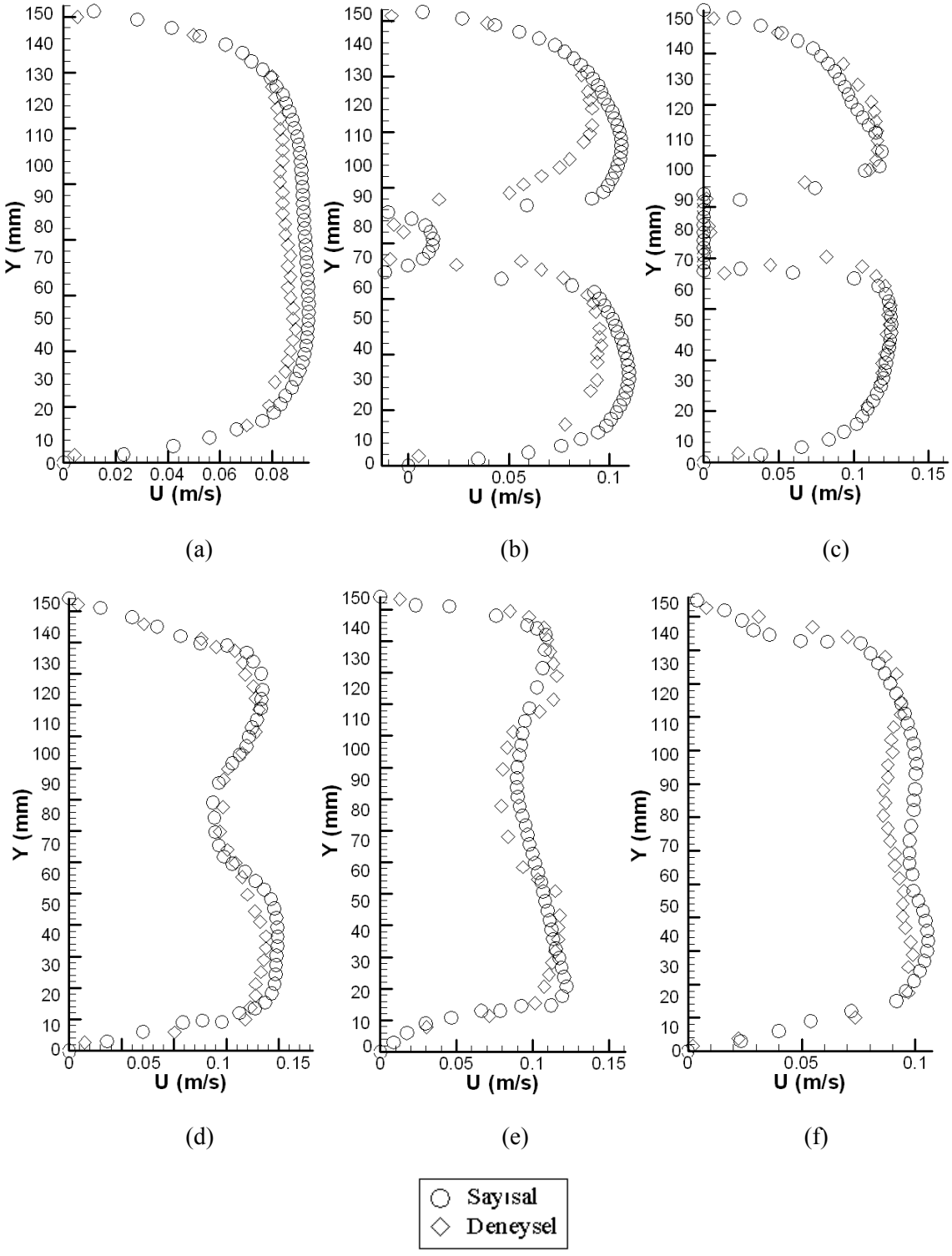
Şekil 5.9. B=25 mm Re=10.000 tek üçgene ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



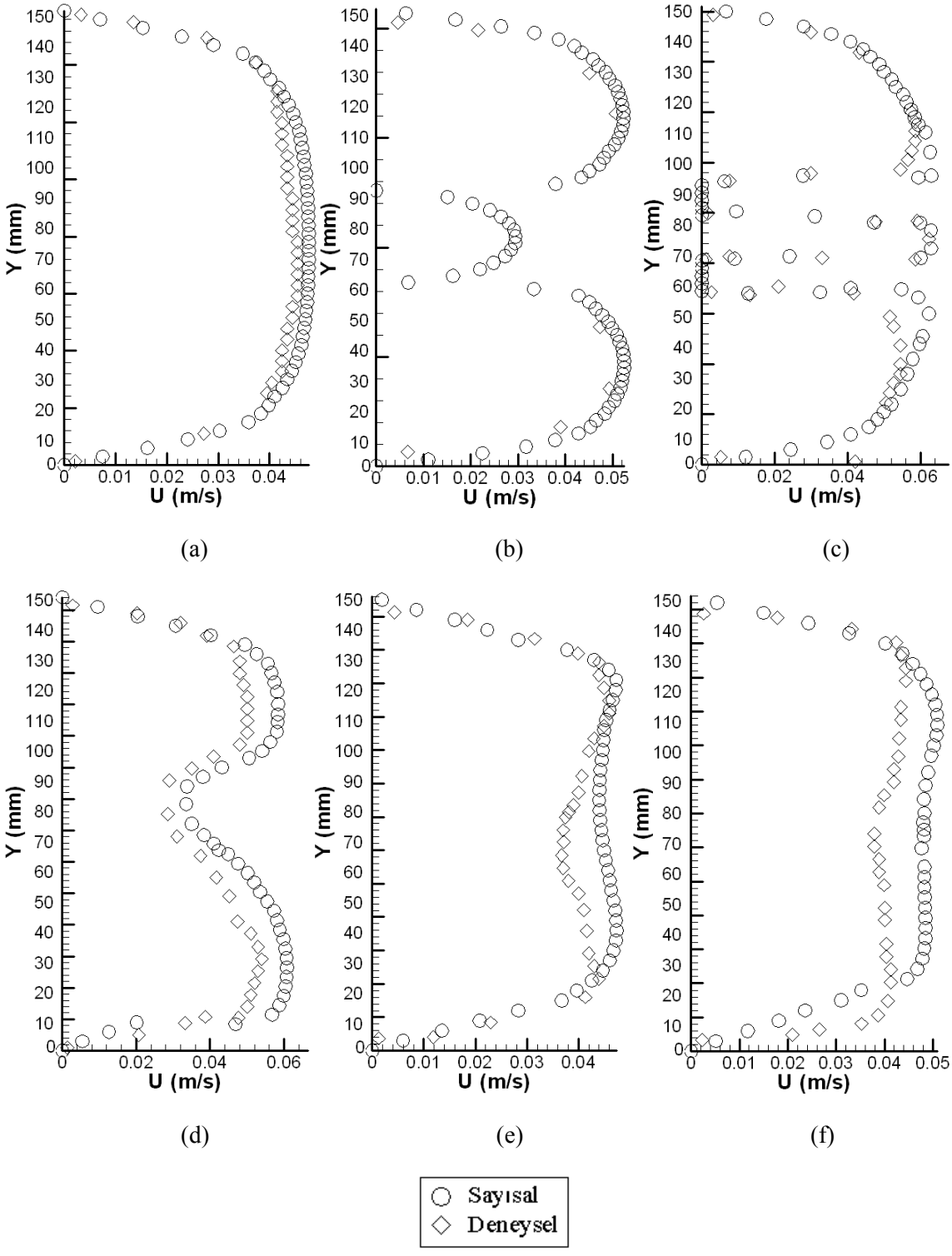
Şekil 5.10. B=15 mm W/B=0 Re=5.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



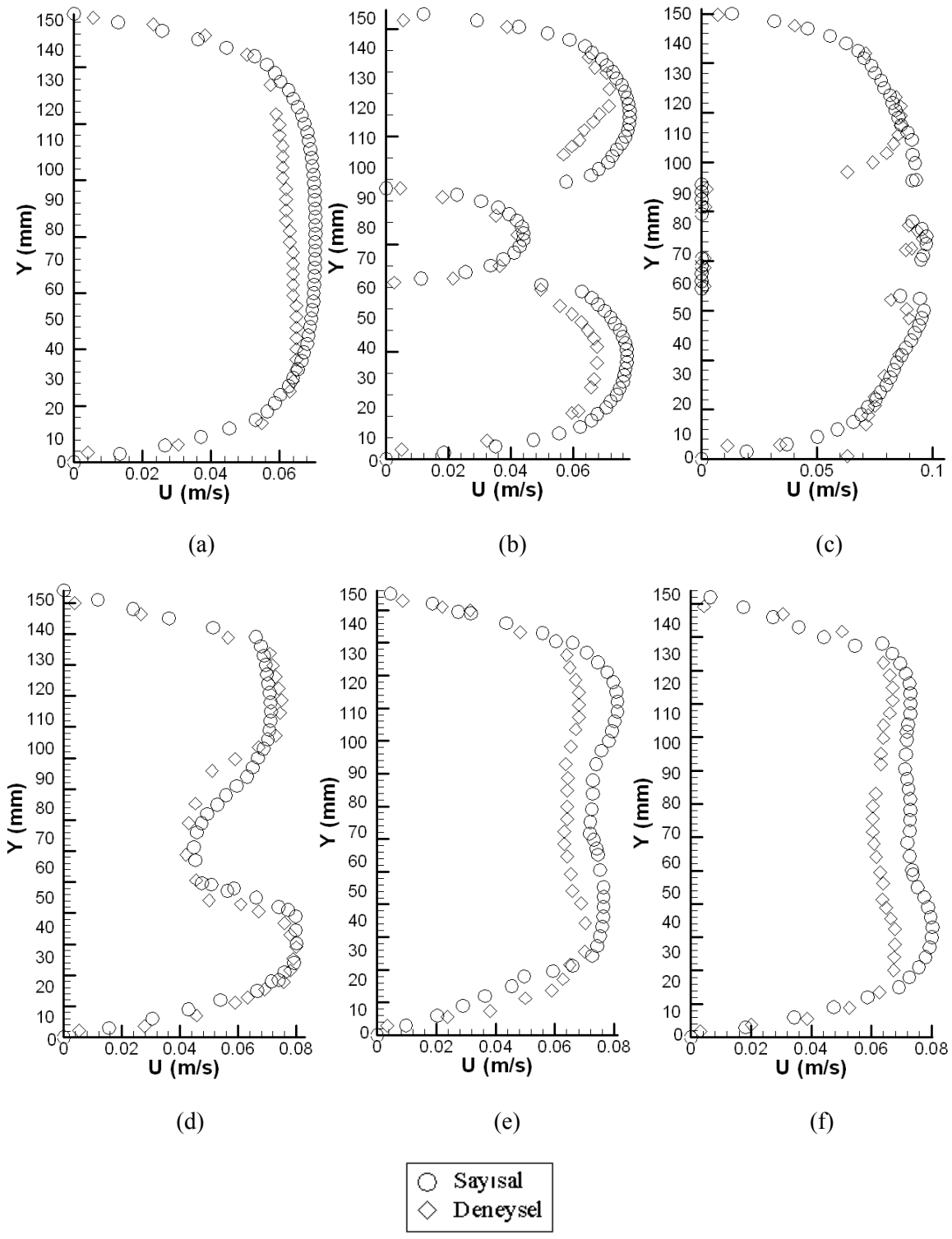
Şekil 5.11. B=15 mm W/B=0 Re=7.500 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



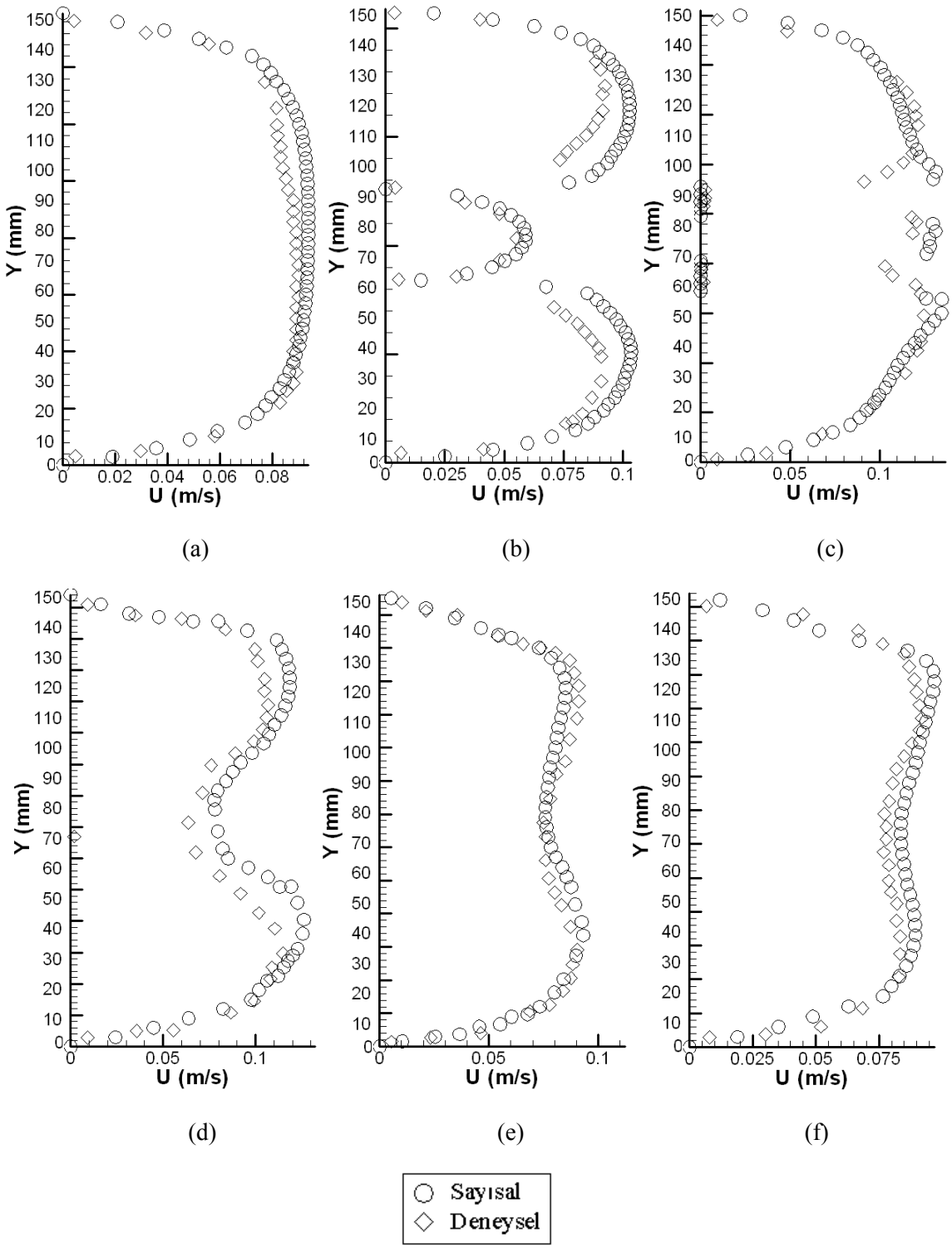
Şekil 5.12. B=15 mm W/B=0 Re=10.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



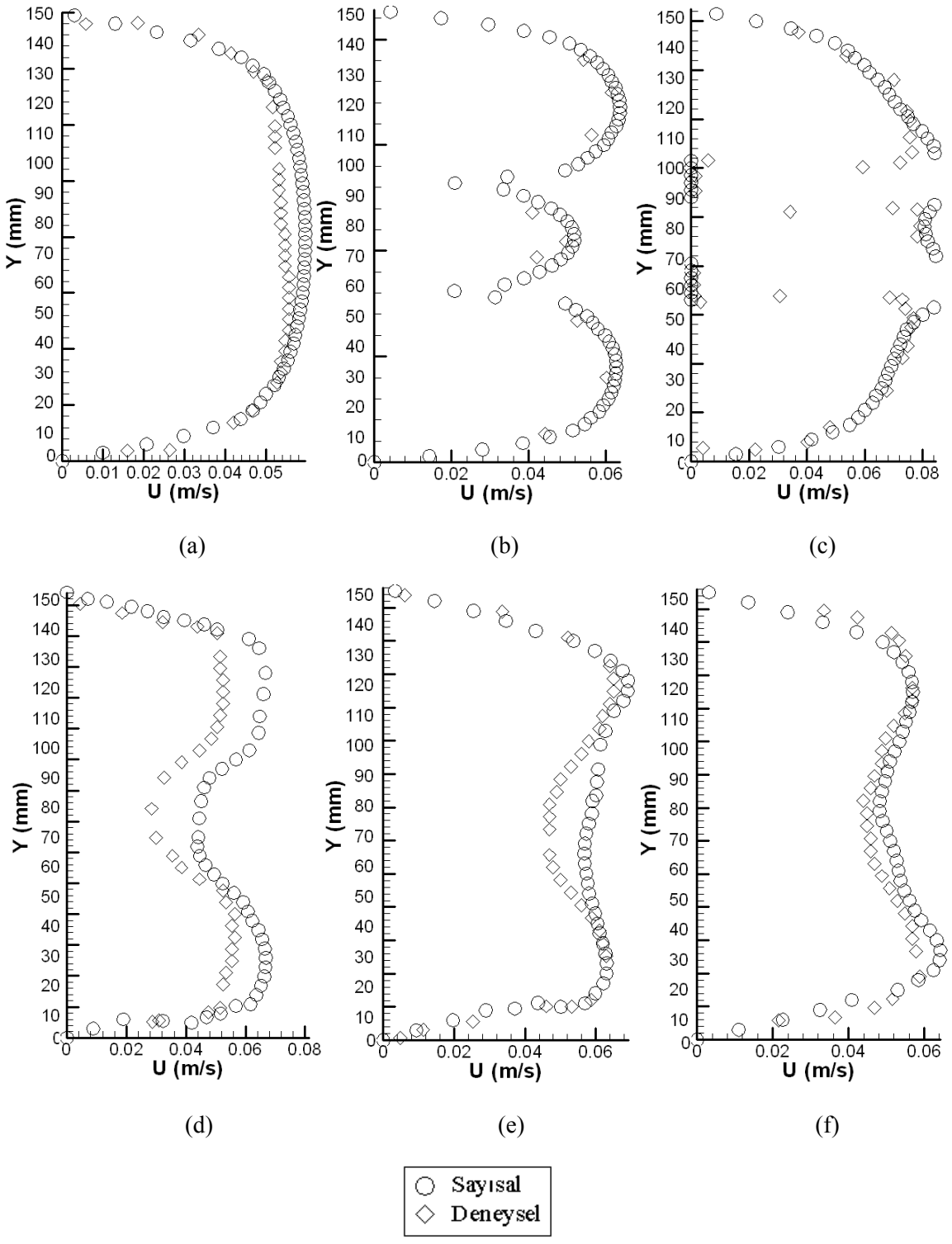
Şekil 5.13. B=15 mm W/B=0.5 Re=5.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



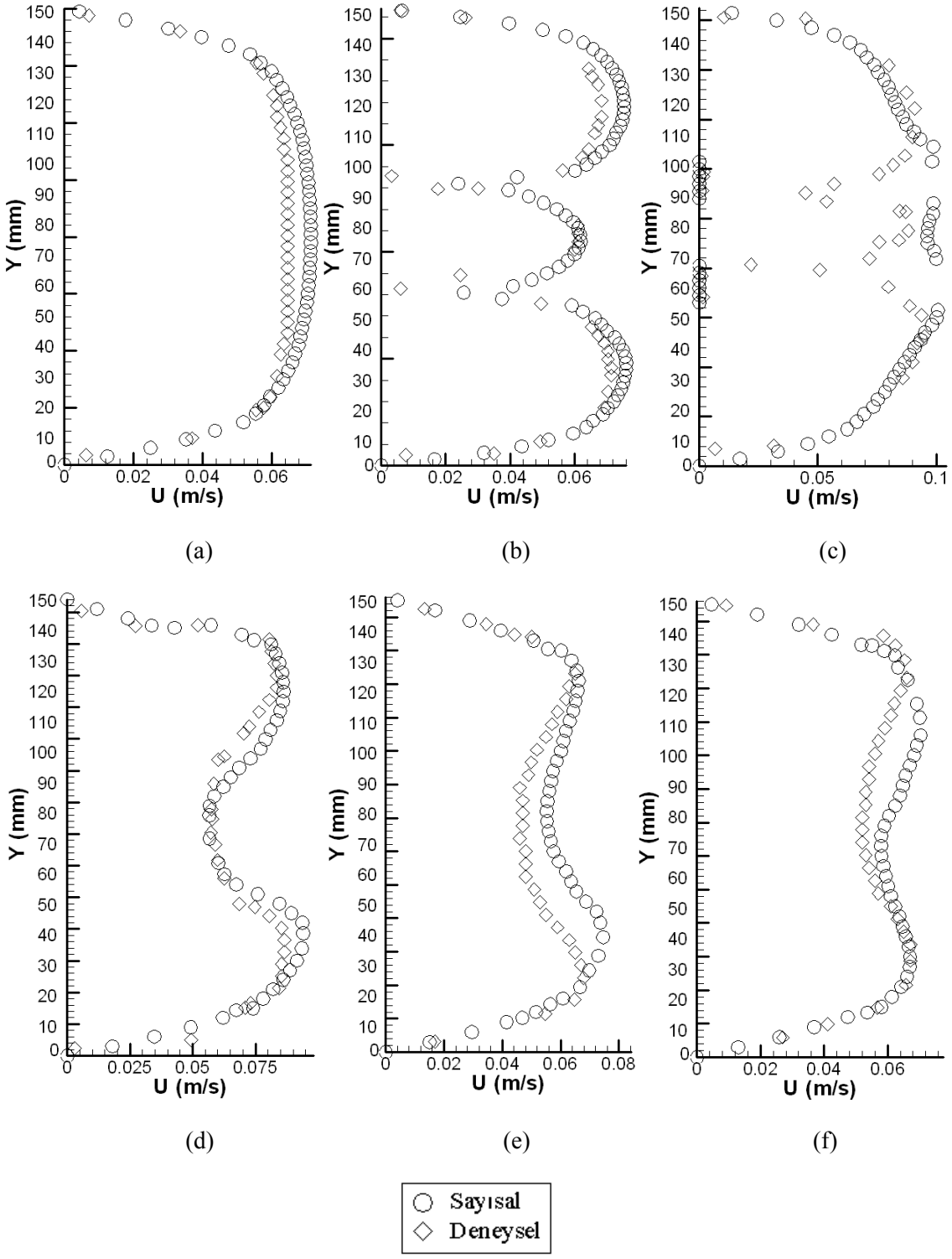
Şekil 5.14. B=15 mm W/B=0.5 Re=7.500 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



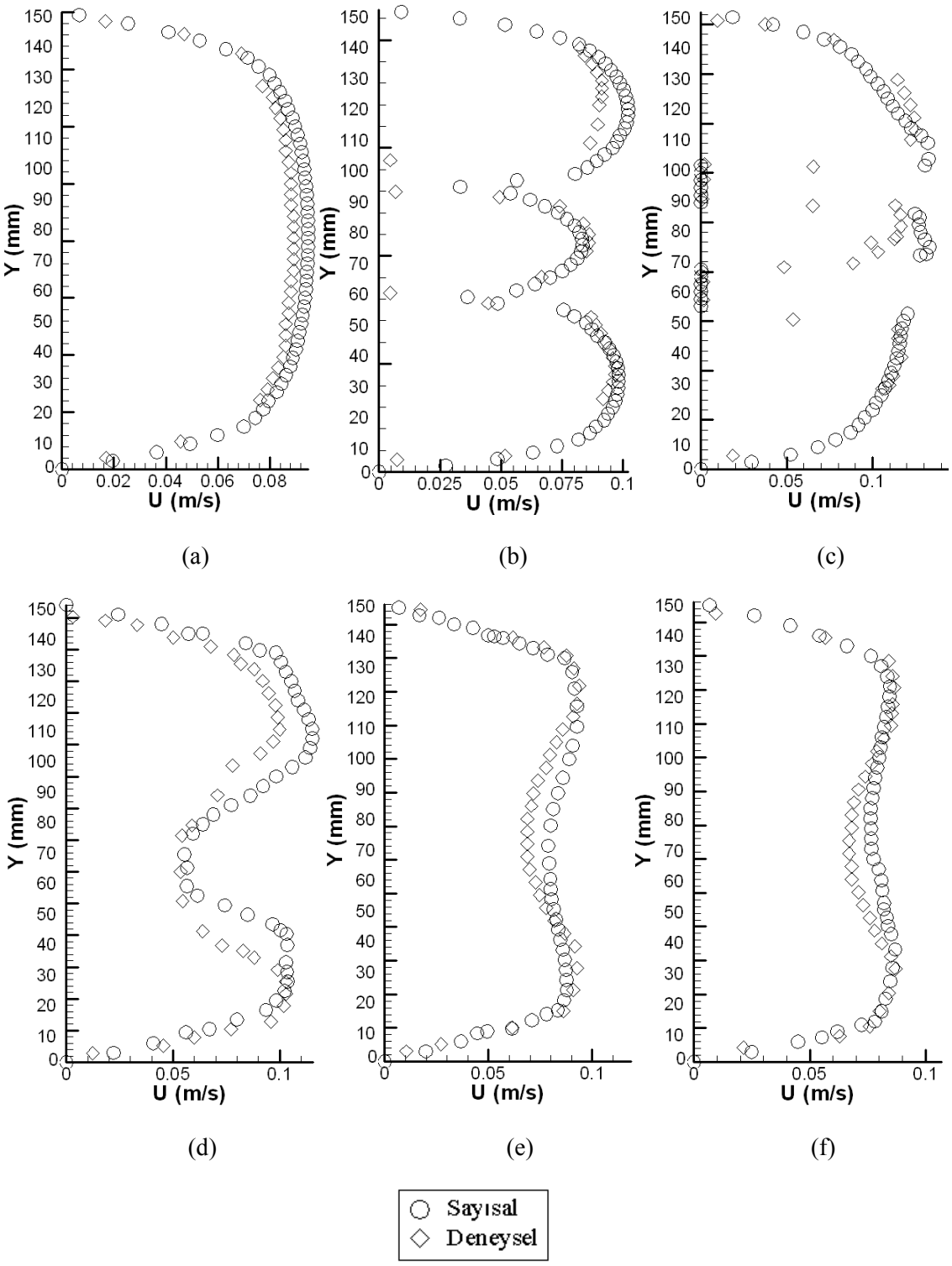
Şekil 5.15. B=15 mm W/B=0.5 Re=10.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



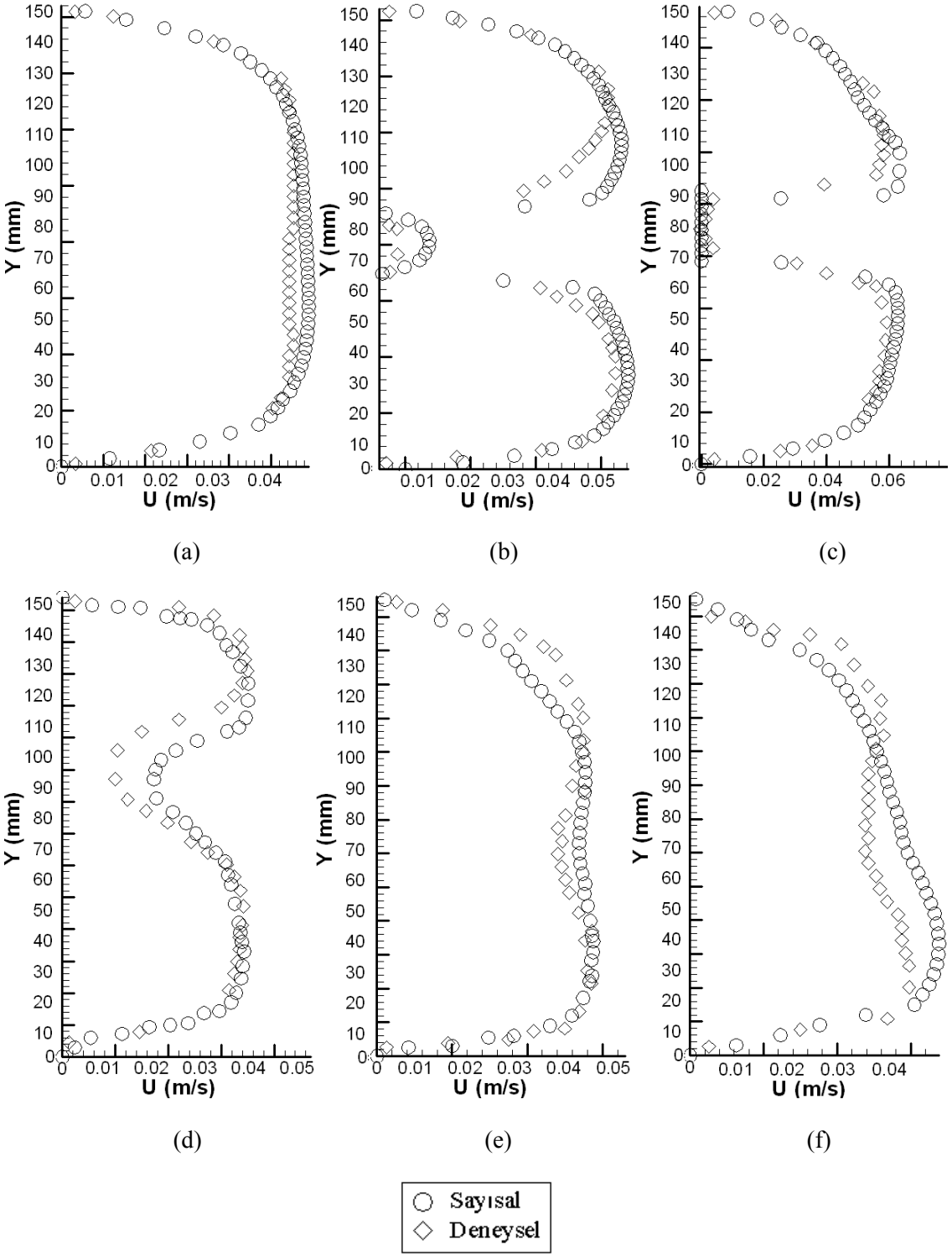
Şekil 5.16. B=15 mm W/B=1 Re=5.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



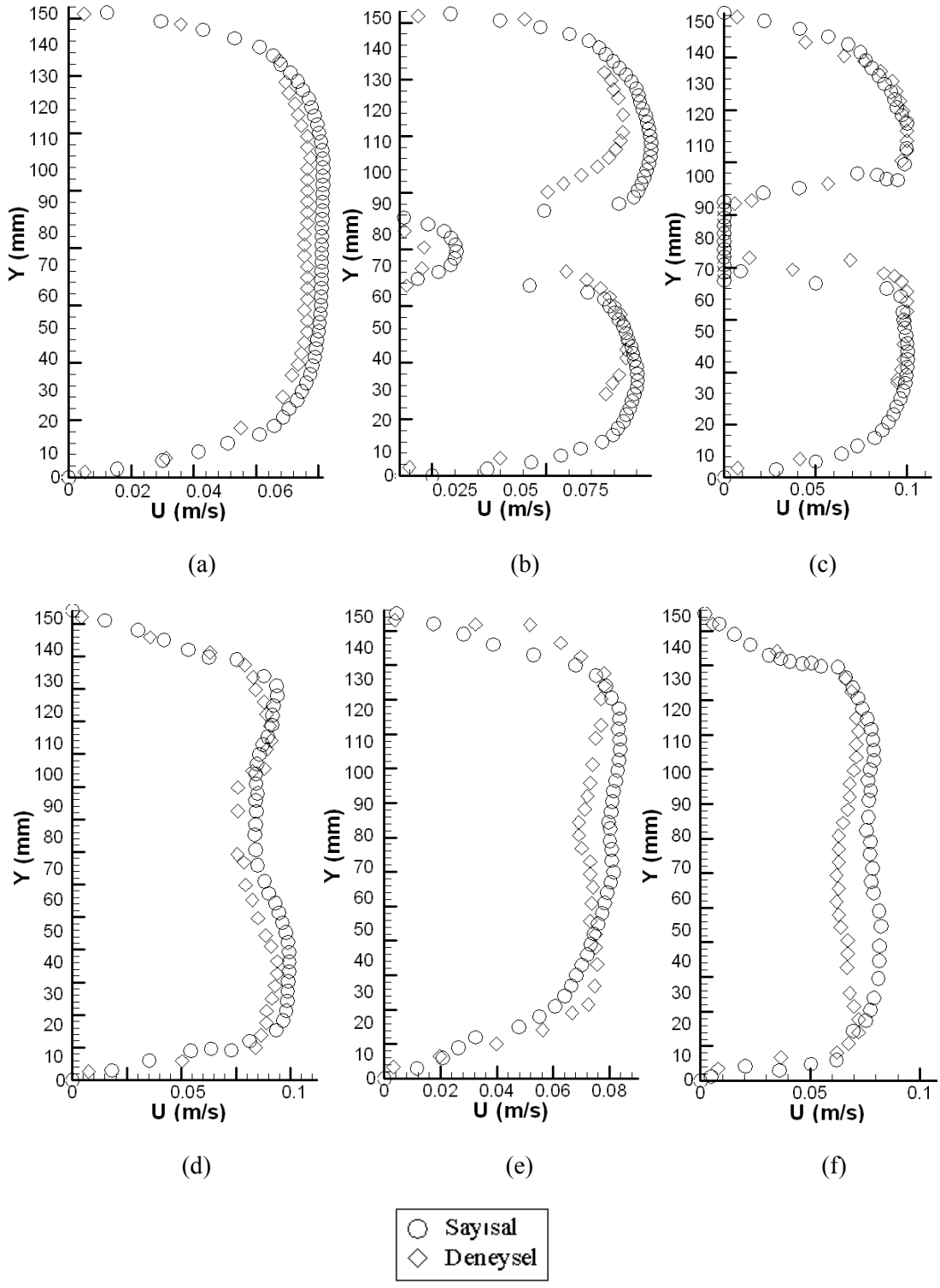
Şekil 5.17. B=15 mm W/B=1 Re=7.500 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



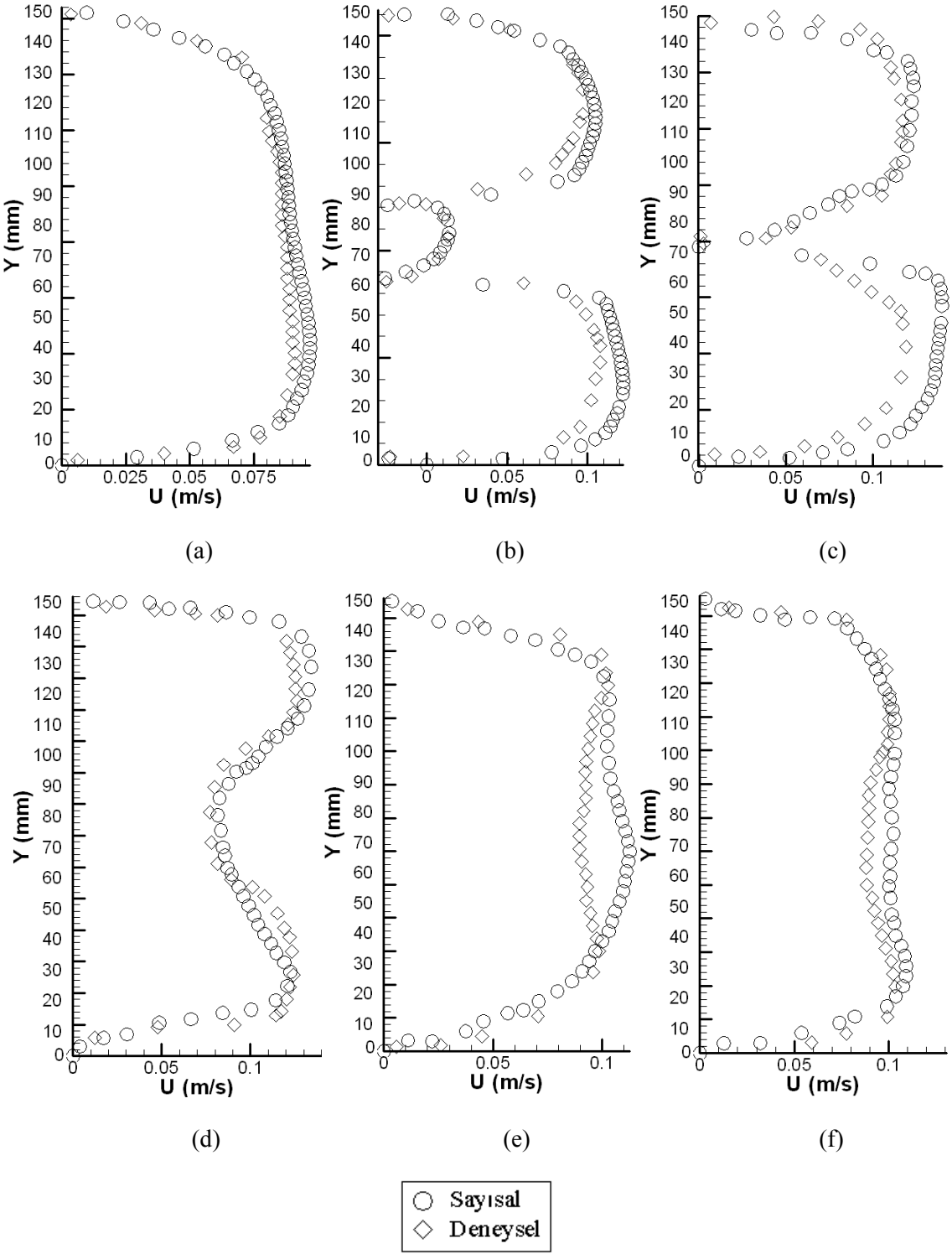
Şekil 5.18. B=1.5 mm W/B=1 Re=10.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



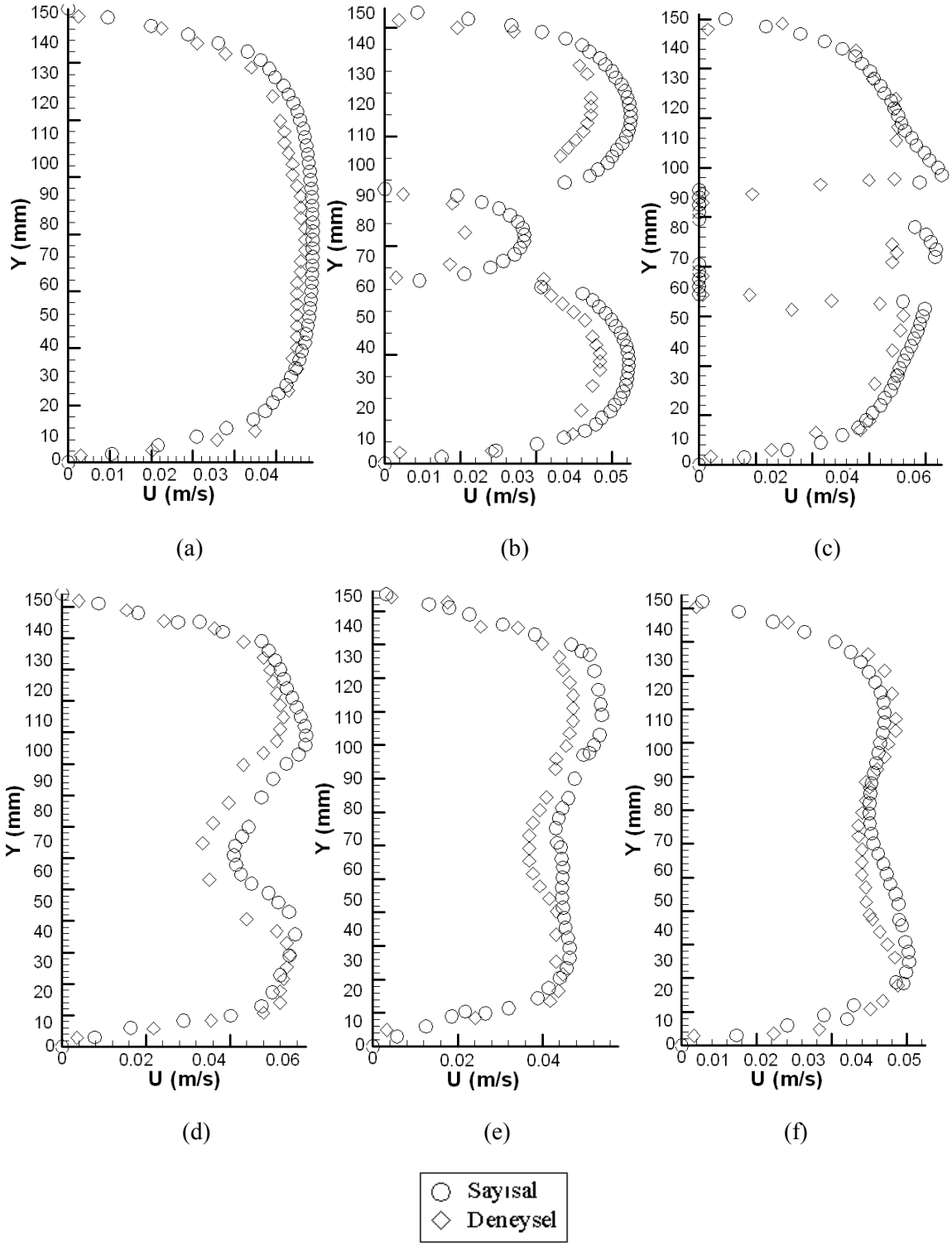
Şekil 5.19. B=20 mm W/B=0 Re=5.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



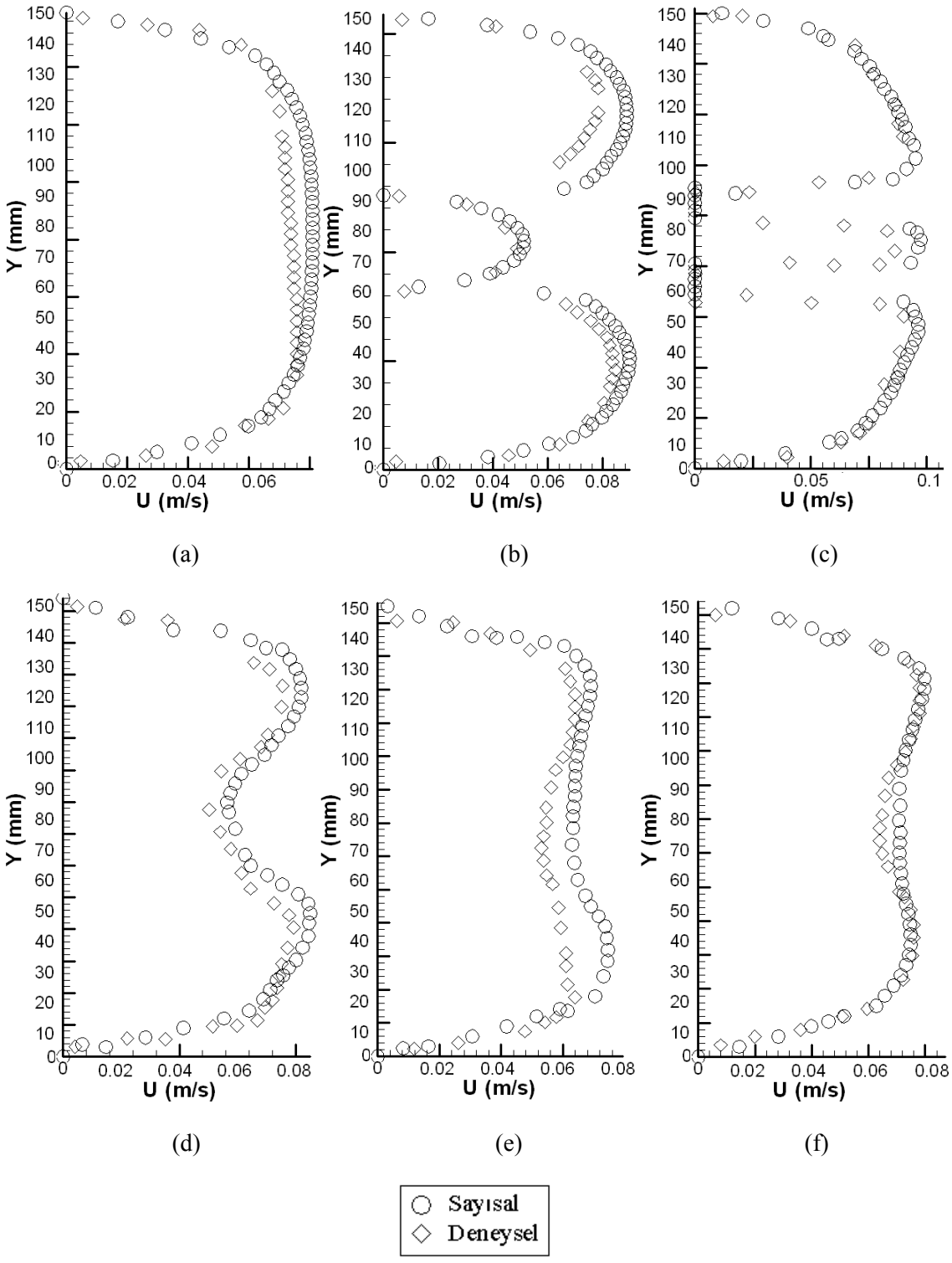
Şekil 5.20. B=20 mm W/B=0 Re=7.500 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



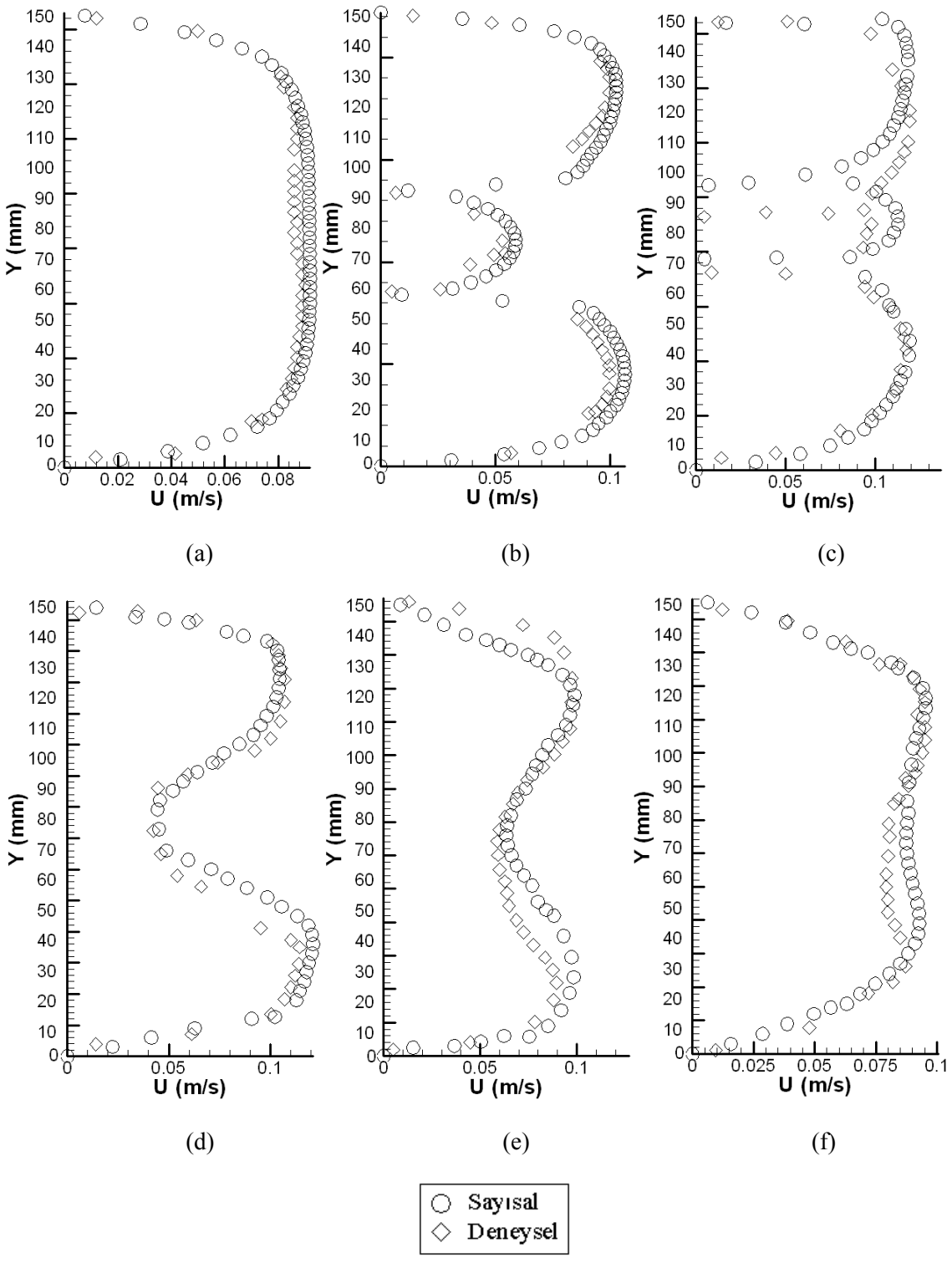
Şekil 5.21. B=20 mm W/B=0 Re=10.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



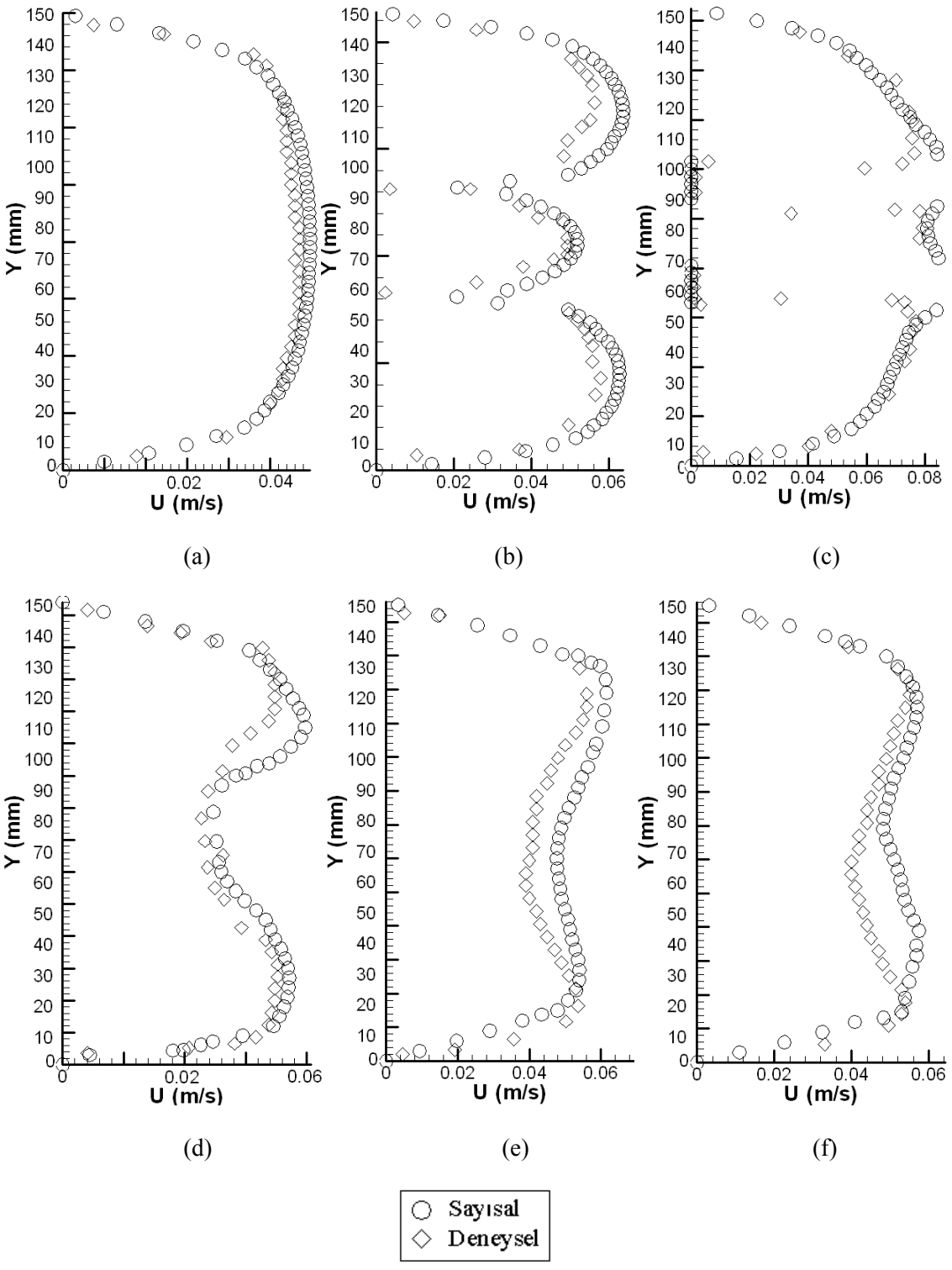
Şekil 5.22. B=20 mm W/B=0.5 Re=5.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



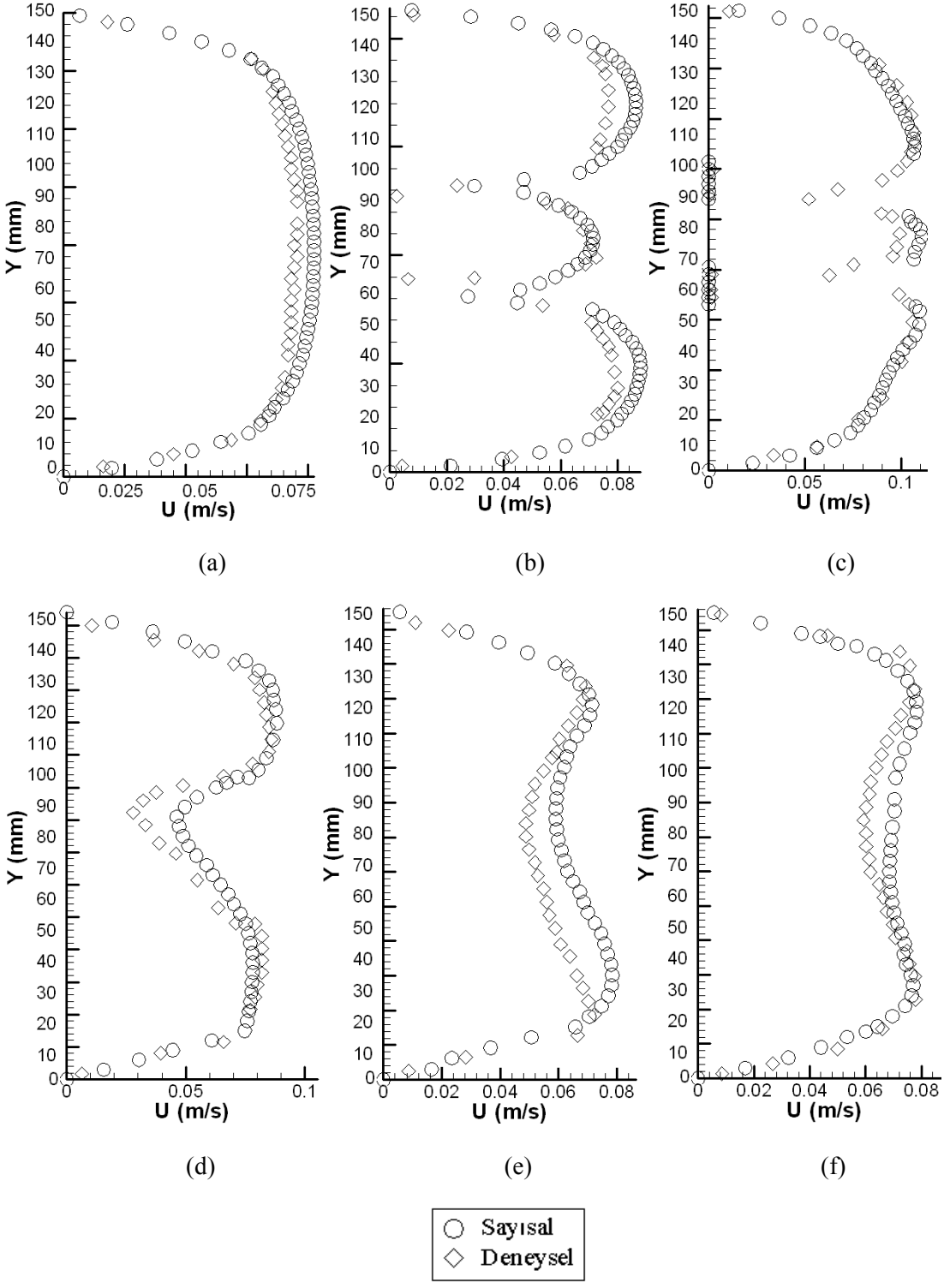
Şekil 5.23. B=20 mm W/B=0.5 Re=7.500 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



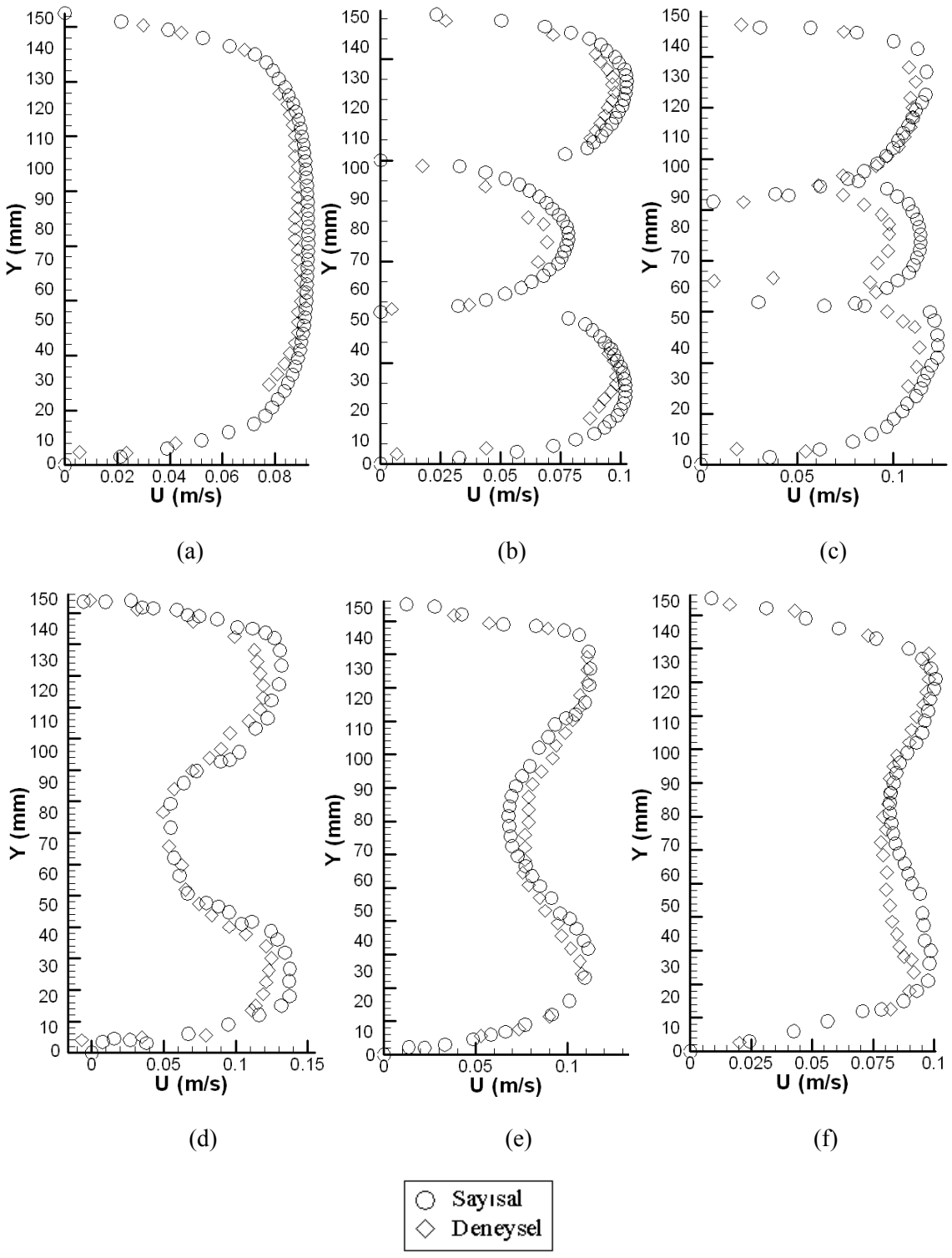
Şekil 5.24. B=20 mm W/B=0.5 Re=10.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



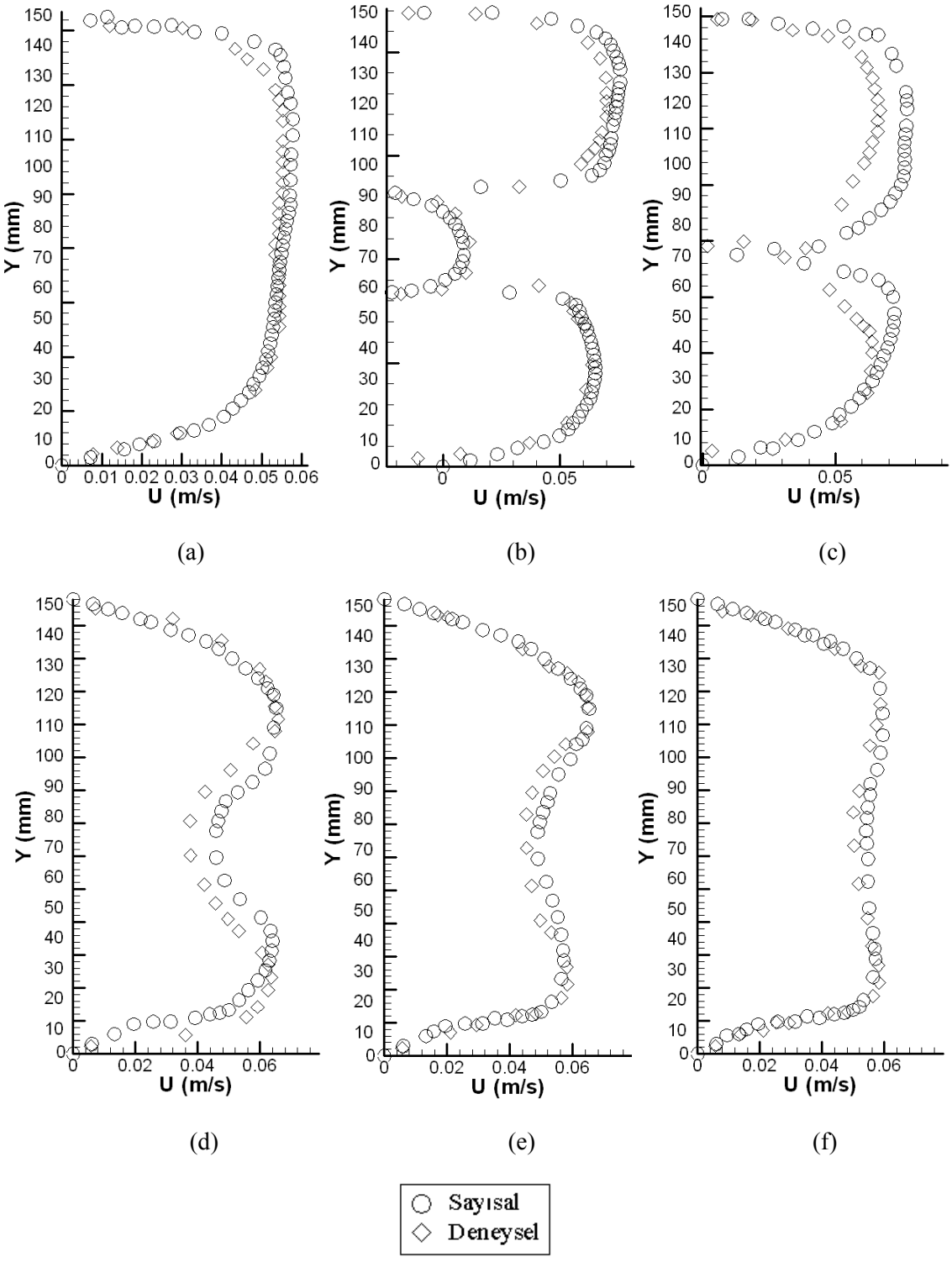
Şekil 5.25. B=20 mm W/B=1 Re=5.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



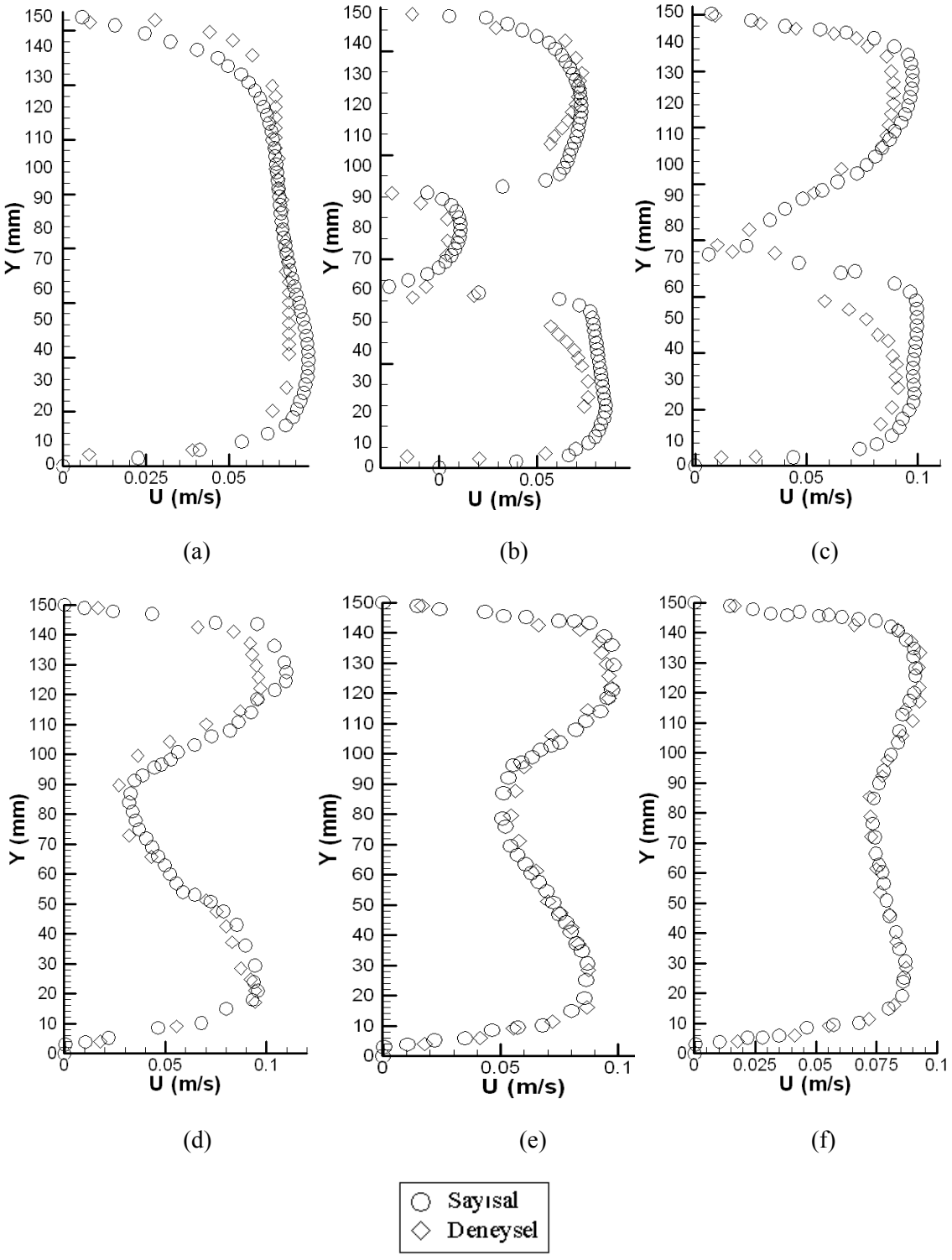
Şekil 5.26. B=20 mm W/B=1 Re=7.500 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



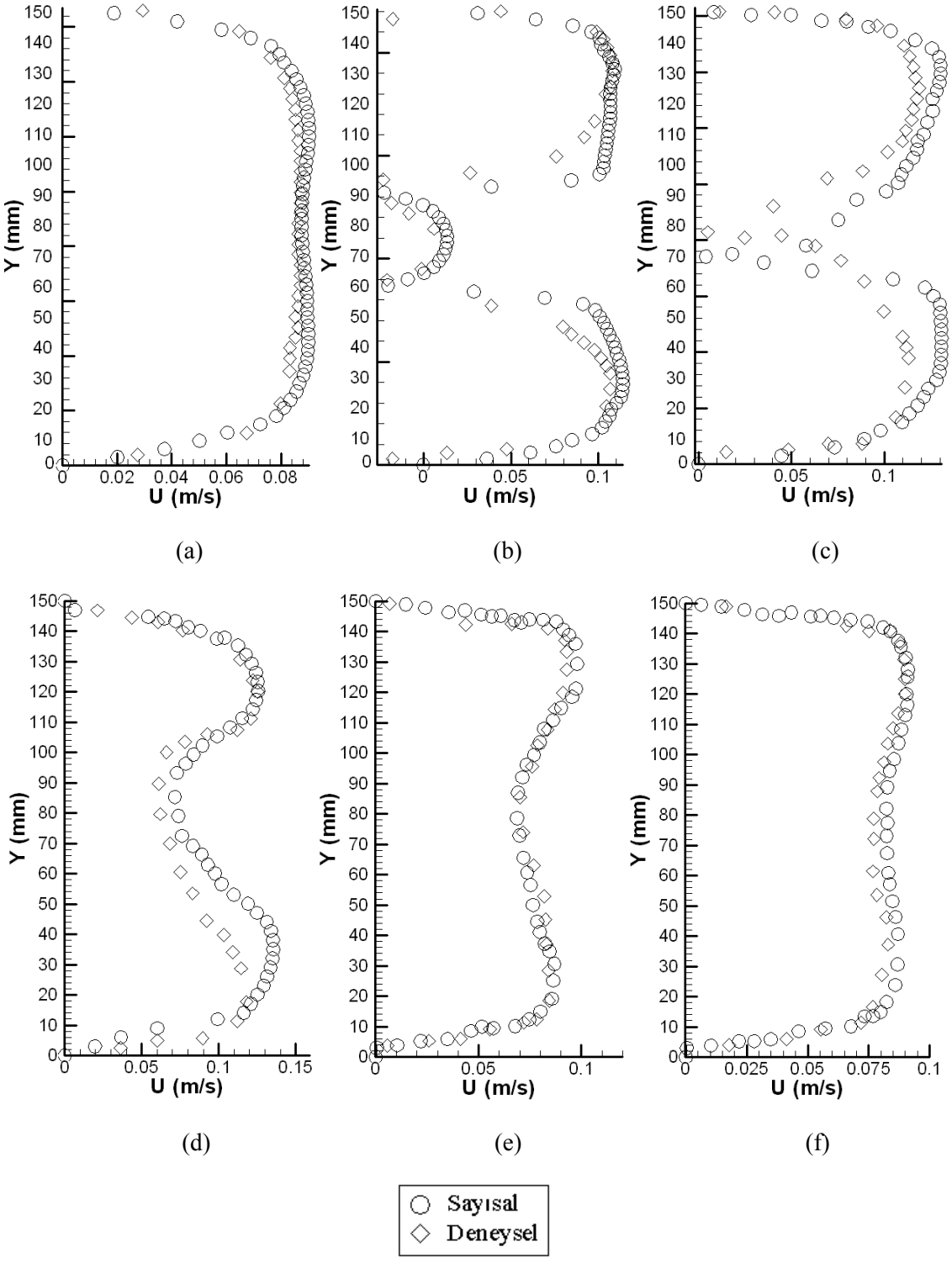
Şekil 5.27. B=20 mm W/B=1 Re=10.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



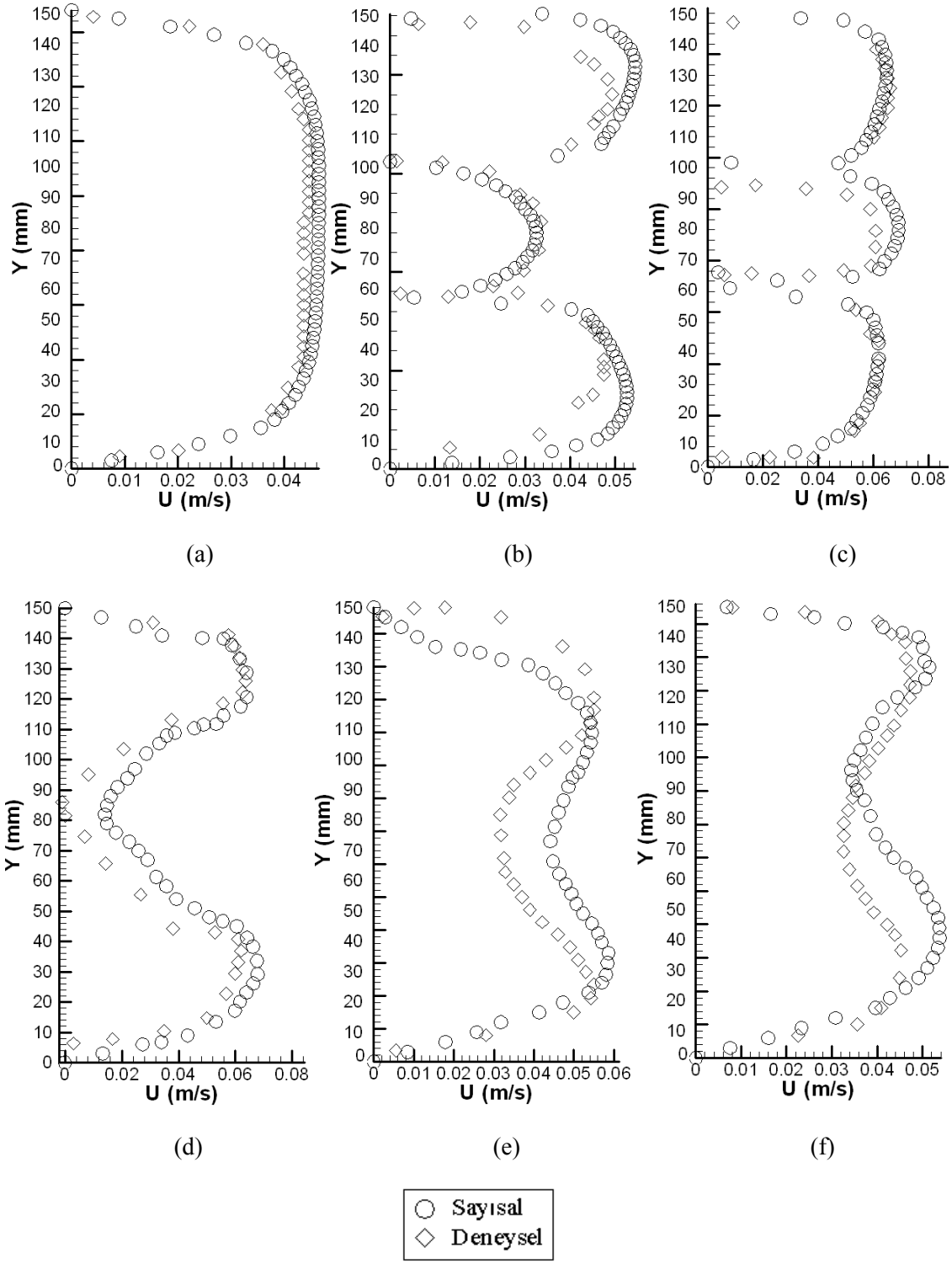
Şekil 5.28. B=25 mm W/B=0 Re=5.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



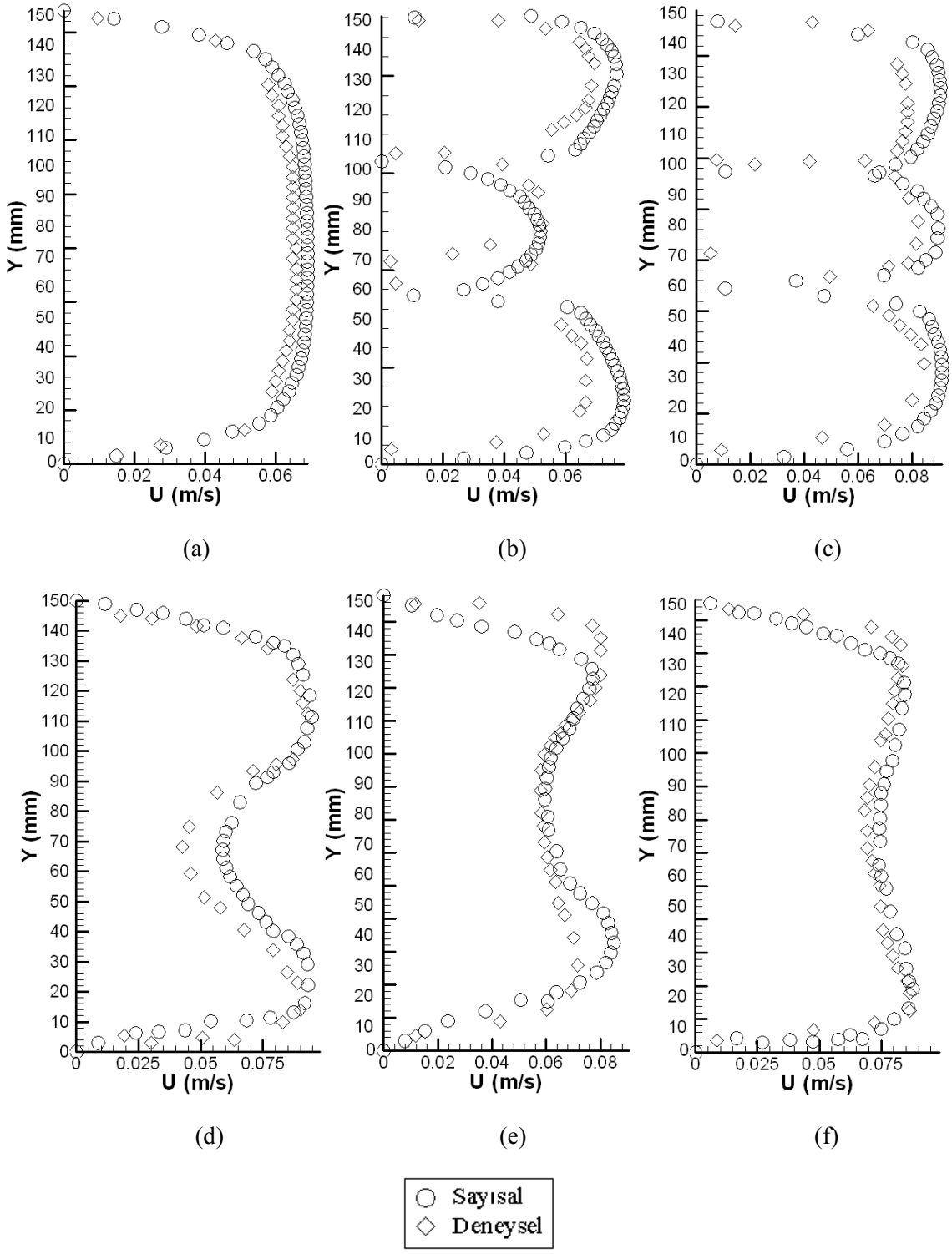
Şekil 5.29. B=25 mm W/B=0 Re=7.500 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



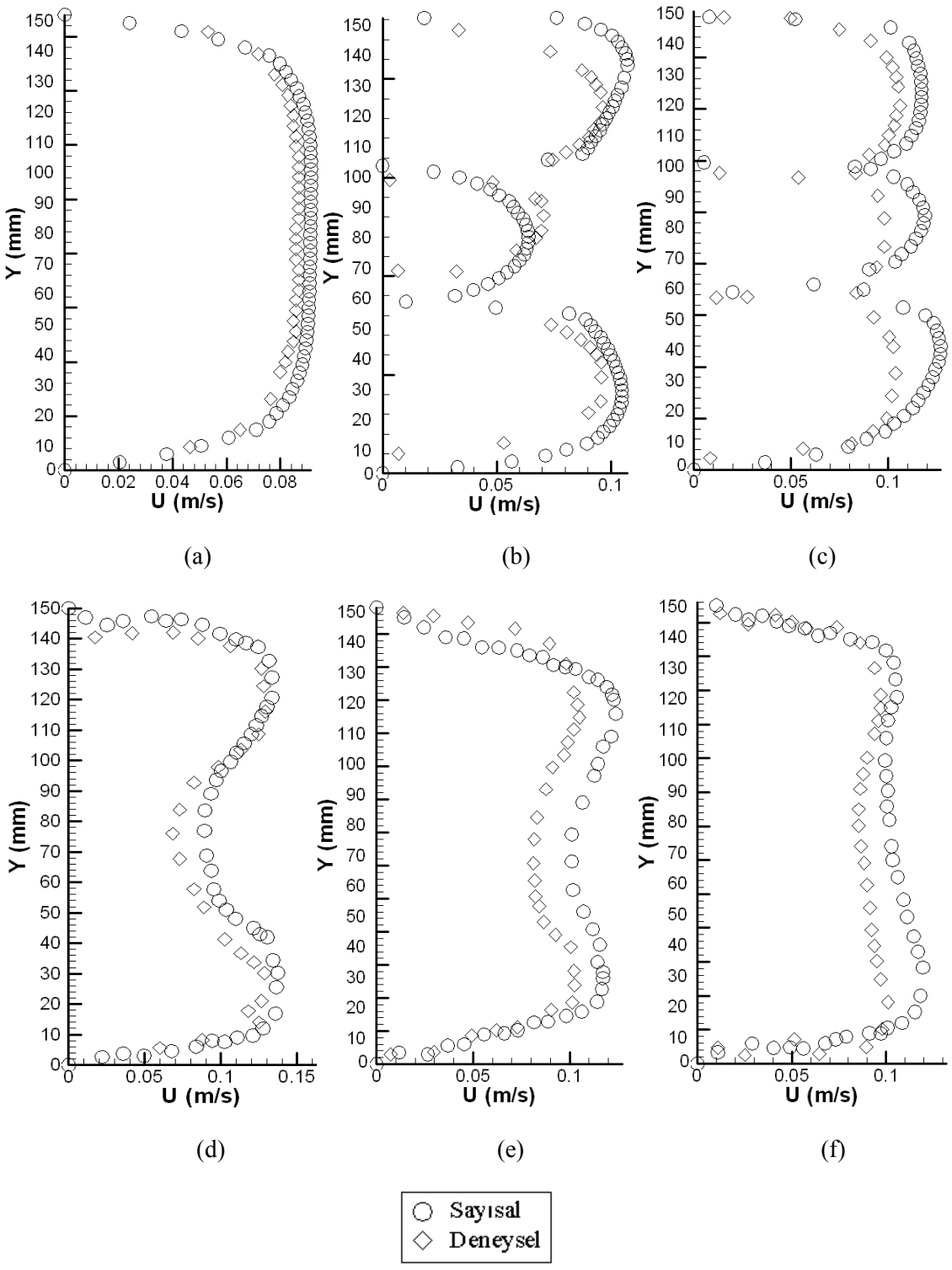
Şekil 5.30. B=25 mm W/B=0 Re=10.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



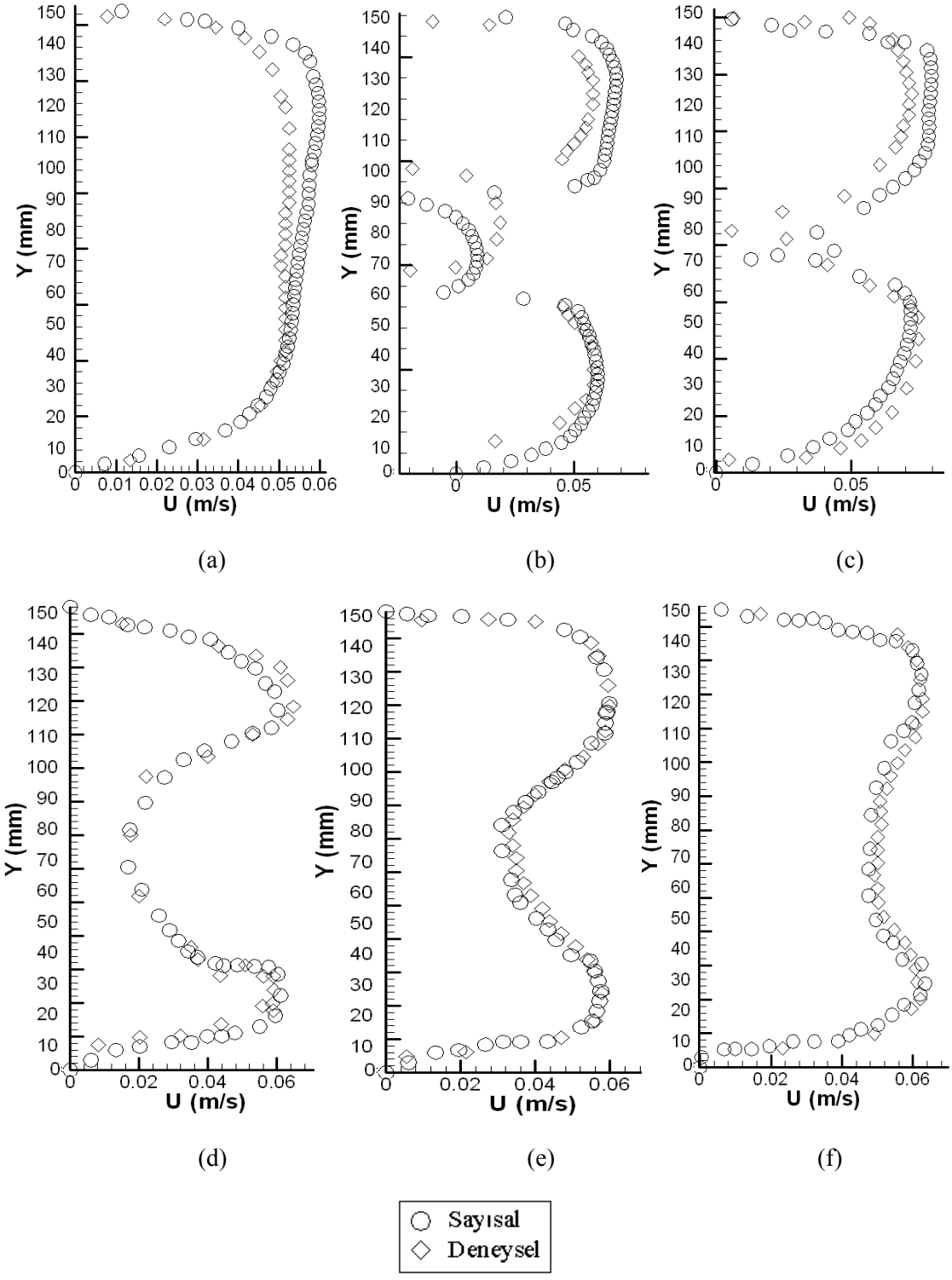
Şekil 5.31. B=25 mm W/B=0.5 Re=5.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



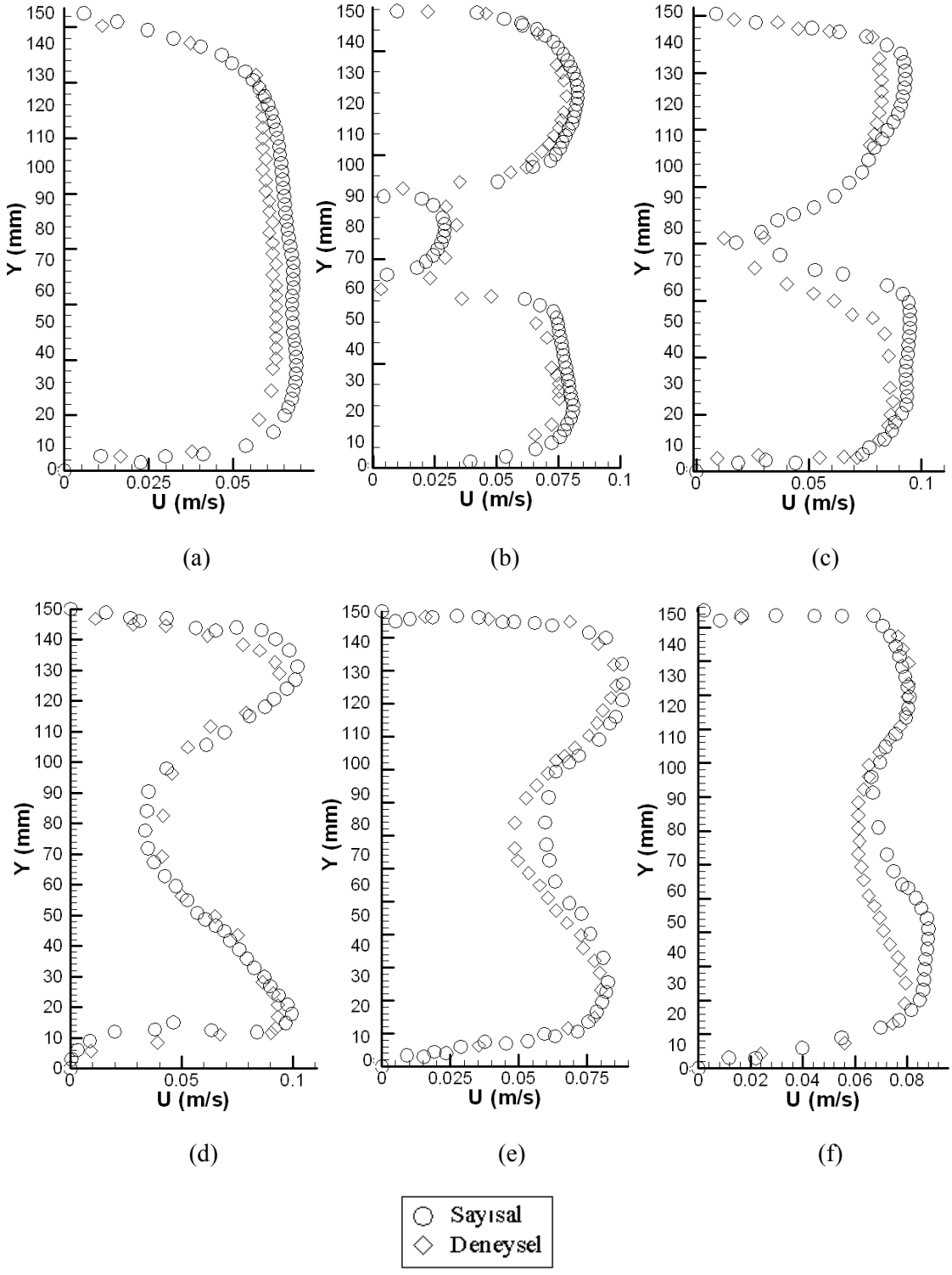
Şekil 5.32. B=25 mm W/B=0.5 Re=7.500 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



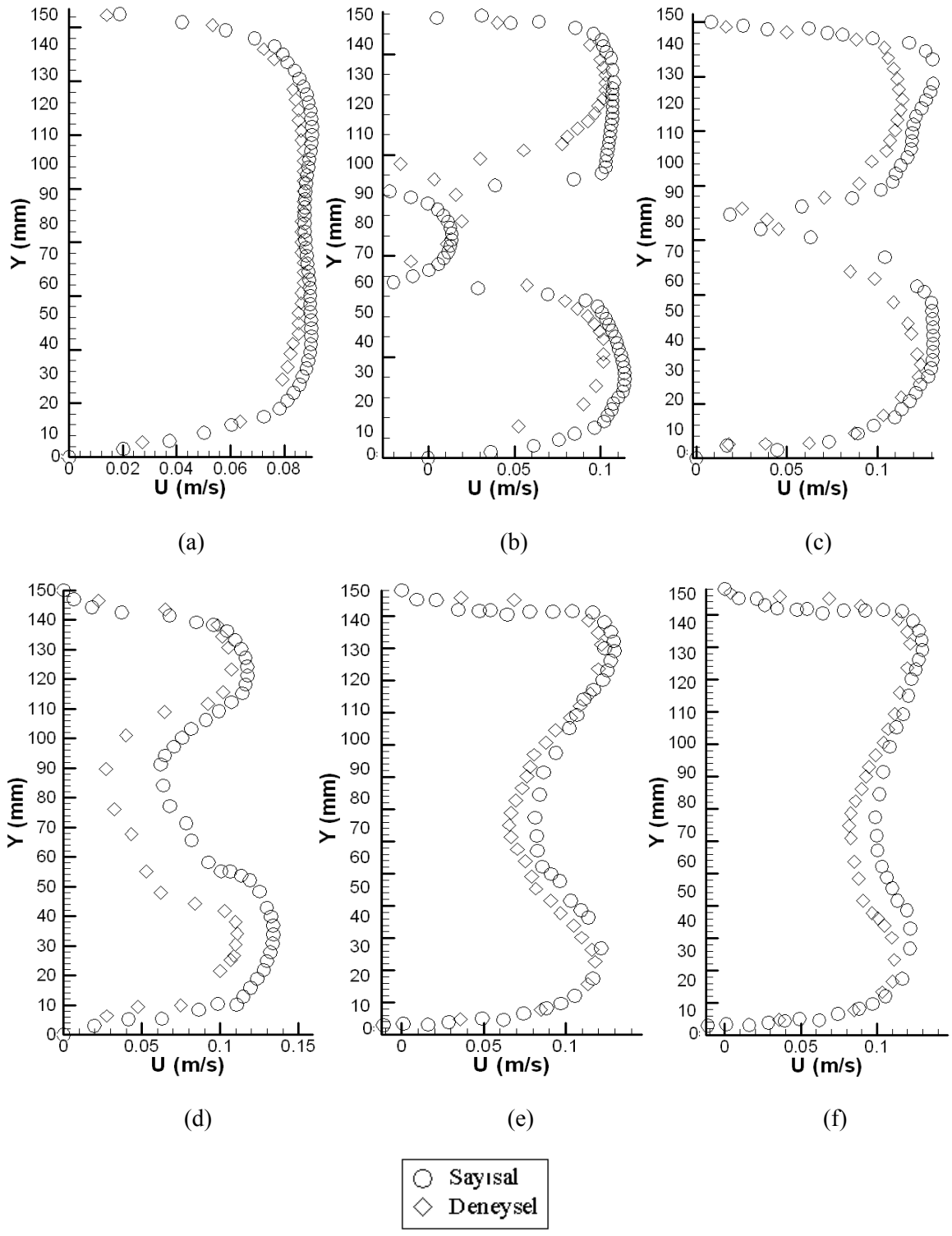
Şekil 5.33. B=25 mm W/B=0.5 Re=10.000 üstüste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



Şekil 5.34. B=25 mm W/B=1 Re=5.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



Şekil 5.35. B=25 mm W/B=1 Re=7.500 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.



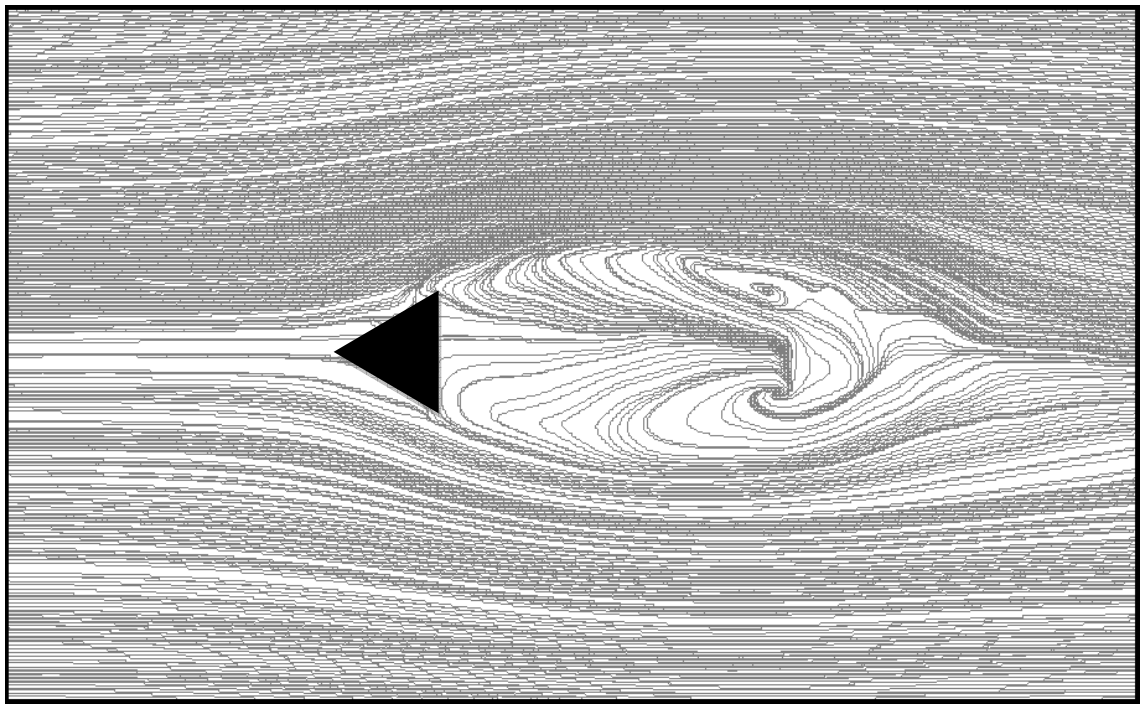
Şekil 5.36. B=25 mm W/B=1 Re=10.000 üst üste üçgenlere ait hız dağılımları; (a) l_1 doğrusu üzerinde, (b) l_2 doğrusu üzerinde, (c) l_3 doğrusu üzerinde, (d) l_4 doğrusu üzerinde, (e) l_5 doğrusu üzerinde, (f) l_6 doğrusu üzerinde.

5.2. Hız Vektörleri Ve Akım Çizgileri

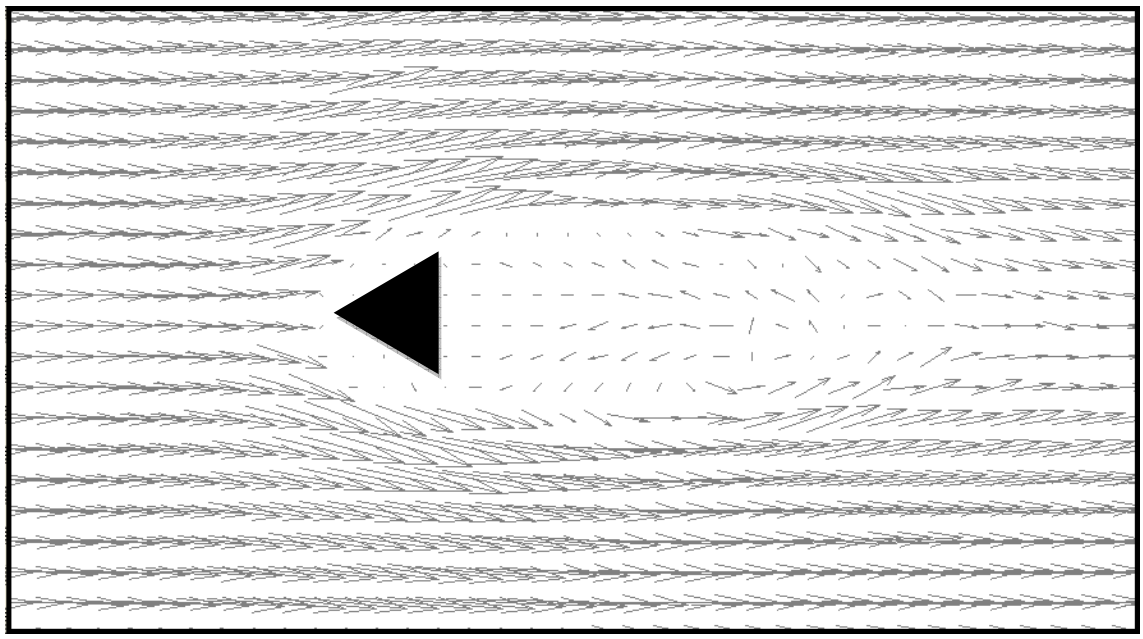
Üçgen cisimlerin önünde, üst ve altında ve arkalarında meydana gelen akış olaylarının daha iyi incelenebilmesi için bu üç grup alanı içerecek şekilde büyütülerek sunulmuştur. Şekil 5.37-5.76'da zaman ortalama akım çizgileri ve zaman ortalama hız vektörleri bütün durumlar (otuz altı durum) için ayrı ayrı gösterilmiştir. Üçgenlerin tek yerleştirilmeleri durumu için cisimlerin önünde akım çizgileri birbirine paralel durumdadır. Cisimlerin üstünden geçen akışkanda meydana gelen sınır tabaka ayrılmalarından dolayı cisimlerin arkalarında girdap alanları oluşmaktadır. Oluşan girdap alanlarının büyüklükleri bir önceki bölümde bahsedildiği gibi cisim arkasında oluşan iz bölgesi büyüklüğü ve Reynolds sayısıyla ilişkilidir. Girdap ayrılması olayının iz bölgesi genişliği ve Reynolds sayısı ile ilişkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için hız vektörleri aynı akış şartları için elde edilen akım çizgileri ile birlikte verilmiştir. Şekiller incelendiğin de, üçgen elemanların alt ve üst kenarlarından gerçekleşen akışta elemanlar arkasında belli bir mesafe sonra sınır tabakalarının ayrılmaları neticesinde her mesafede ayrılan vektörler kendi çevrintilerini oluştururlar. Başka bir deyişle, üçgen küt cisim arkasında belli mesafede ayrılan her vektör grubunun kendi çevrintisini oluşturmasıyla çevrintiler iç içe gelir ve bir bütünlük oluşturur. En içteki vektör grubunun oluşturduğu en küçük çevrinti aynı vektör grubunun oluşturduğu bütünlüğün merkezi halini alır. Oluşan bu bütünlük ise akışkanlar dinamiğinden bilineceği üzere aslında girdap alanının teşekkülüdür. Tek üçgen düzenlemesinde özellikle cisim boyutlarının büyümesiyle birbirinin neredeyse aynı büyüklükte ve kanal eksenine göre simetrik iki ayrı girdap alanı oluşmaktadır. B=15 ve B=20 mm için, cisim art iz bölgesinin küçük olmasından dolayı önemli bir durumla karşılaşılmaktadır. Bu durum, cisimlerin üst bölgesinden ayrılan vektörler ile alt bölgesinden ayrılan vektörler birbirlerine karışmakta ve biri büyük diğeri küçük iki ayrı girdap alanı oluşmasıdır. Bu fark bir bölgeden ayrılan vektörlerin büyük bir kısmının ayrıldığı bölgenin karşından ayrılan vektörlerle büyük bir girdap alanı oluşturmasıdır. Dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ise, Reynolds sayılarının girdap oluşlum uzunluğuna etkisidir. Yüksek Reynolds sayılarında iz bölgesinin daha ileri noktalarında da ayrılmalar gerçekleşmektedir. Meydana gelen bu ayrılmalar az önce bahsedildiği gibi girdap oluşum uzunluğunun artmasına, Reynods sayısı azaldıkça azalmasına neden olacaktır.

Üçgenlerin üst üste yerleştirildikleri durumda aralarında boşluk olmaması hali (W/B=0) yukarıdaki paragrafın son bölümlerinde değinilen davranışın açıklanmasını daha da kolaylaştırmaktadır. Çünkü, cisimler ardında iz bölgesi yüksekliği artmakta ve cisimler ardında simetrik girdap alanları gözlenmektedir. Bu düzenlemede dikkat çeken nokta, cisimlerin arasında çarpmadan sonra geri akış bölgelerinin oluştuğudur.

W/B=0.5 blokaj oranında küt cisimler arasındaki mesafe küçük olduğundan jet akışı oluşmaktadır. Cisimler arasında daha dar bir kesitten geçen akışkanın hızı artmakta bu sebepten dolayı yüksek hızlı vektörler cisimlerin arkasında iki cismin birinden ayrılan vektörlerle daha yakın bir bölgede yeniden birleşmektedir (re-attachment). Anlatılan bu hadise akışın bir bölgeye yakınlaşmasına (pulling up) yol açmakta ve üçgen elemanların arkasında simetrik olmayan girdap alanları ve akış desenlerinin oluşumuna neden olmaktadır. W/B=1 blokaj oranında cisimler arası mesafe arttığından akışkan daha geniş bir kesitten geçmektedir. Bu durum cisimler arkasında nerdeyse simetrik akış desenlerinin oluşumuna neden olmakta ve neticede cisimler arası etkileşim bütün Reynolds sayılarında W/B=0.5 blokaj oranına göre daha az etkileşmelerine neden olmaktadır. Daha az etkileşimin doğurduğu sonuç ise birbirinden neredeyse bağımsız iki ayrı küt cisim davranışıdır.

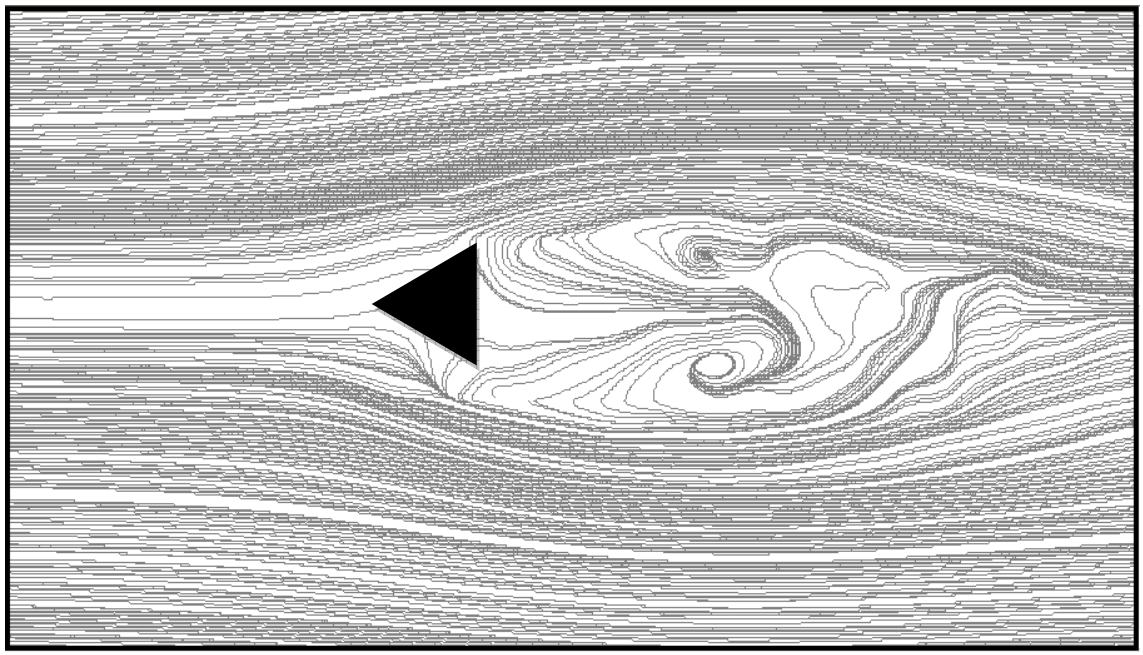


(a)

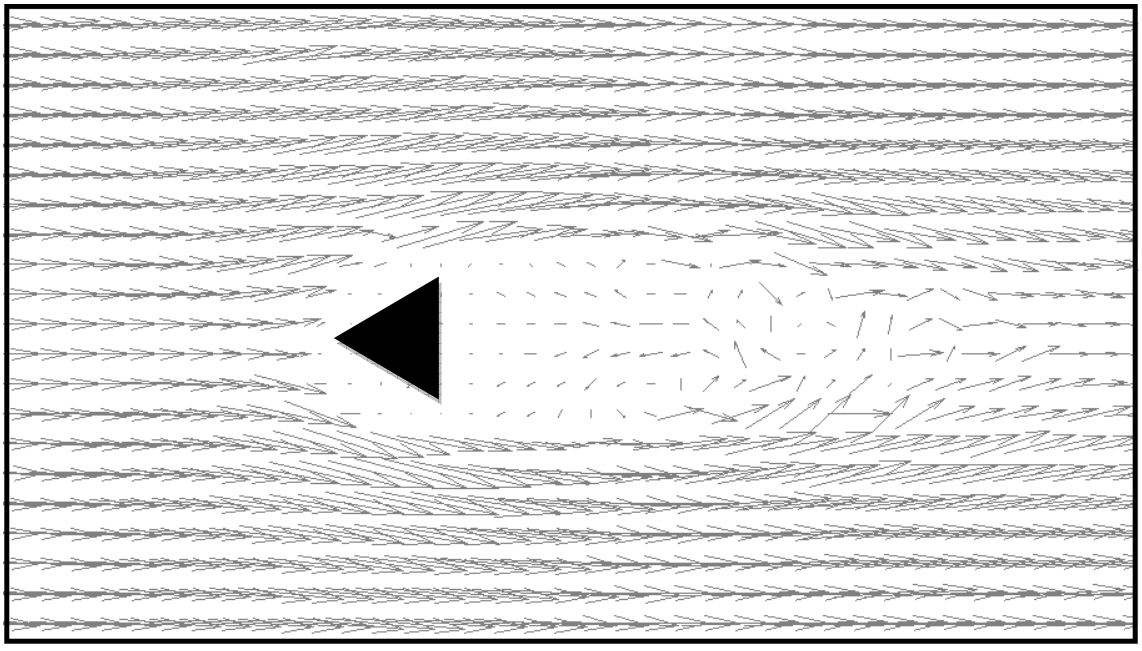


(b)

Şekil 5.37. B=15 mm Re=5.000 tek üçgene ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

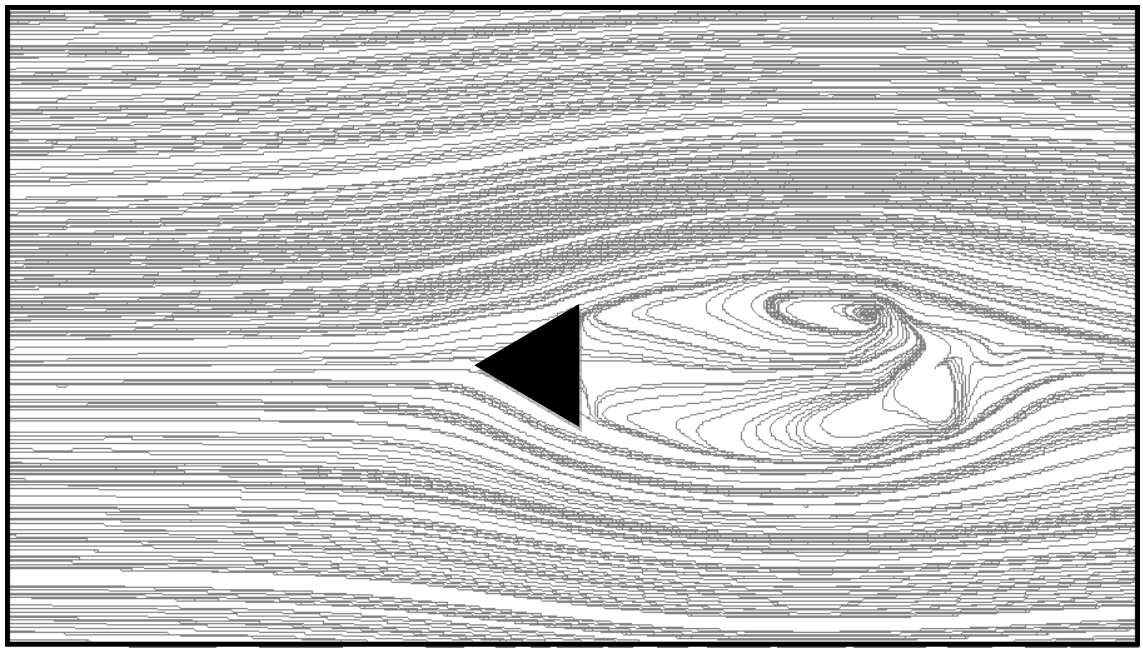


(a)

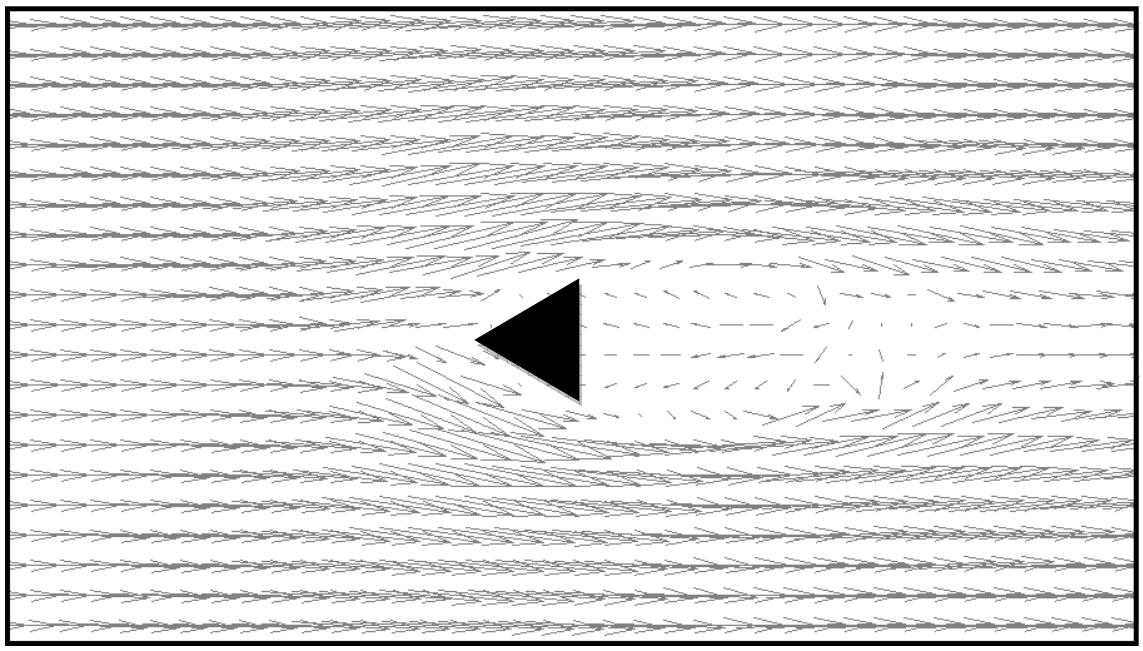


(b)

Şekil 5.38. B=15 mm Re=7.500 tek üçgene ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

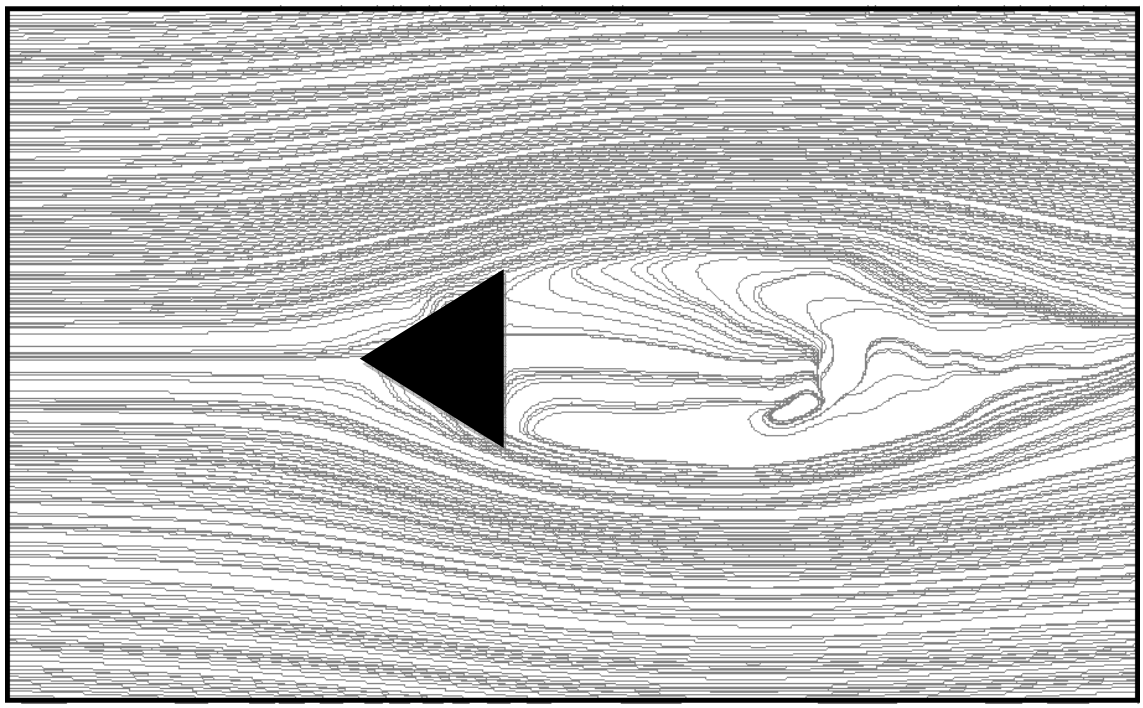


(a)

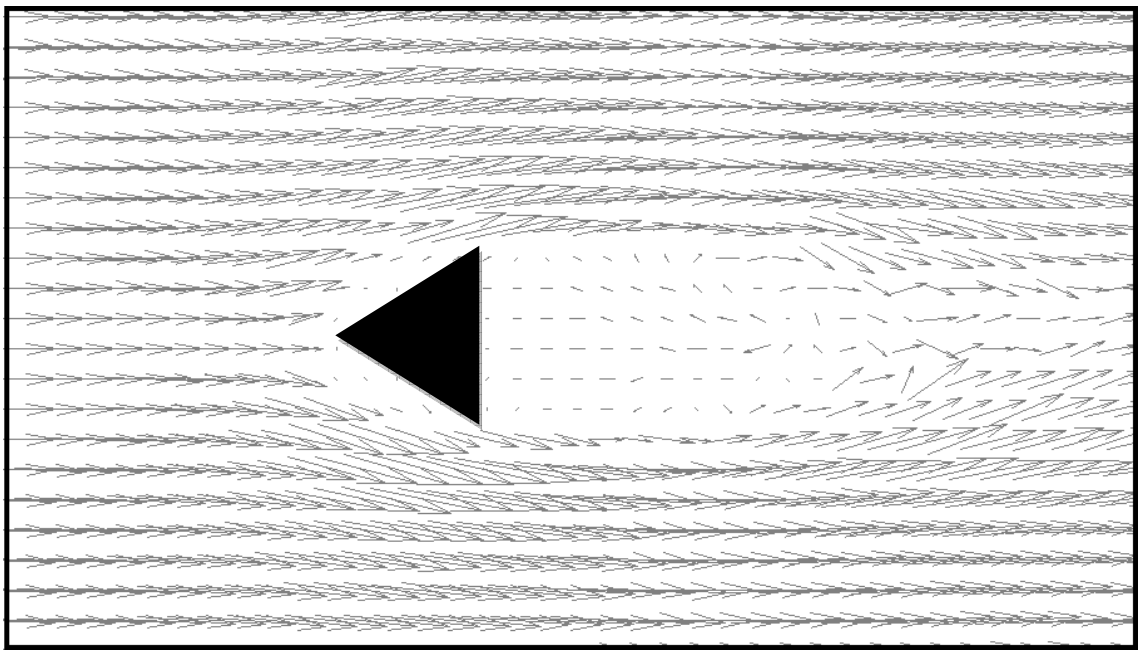


(b)

Şekil 5.39. B=15 mm Re=10.000 tek üçgene ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

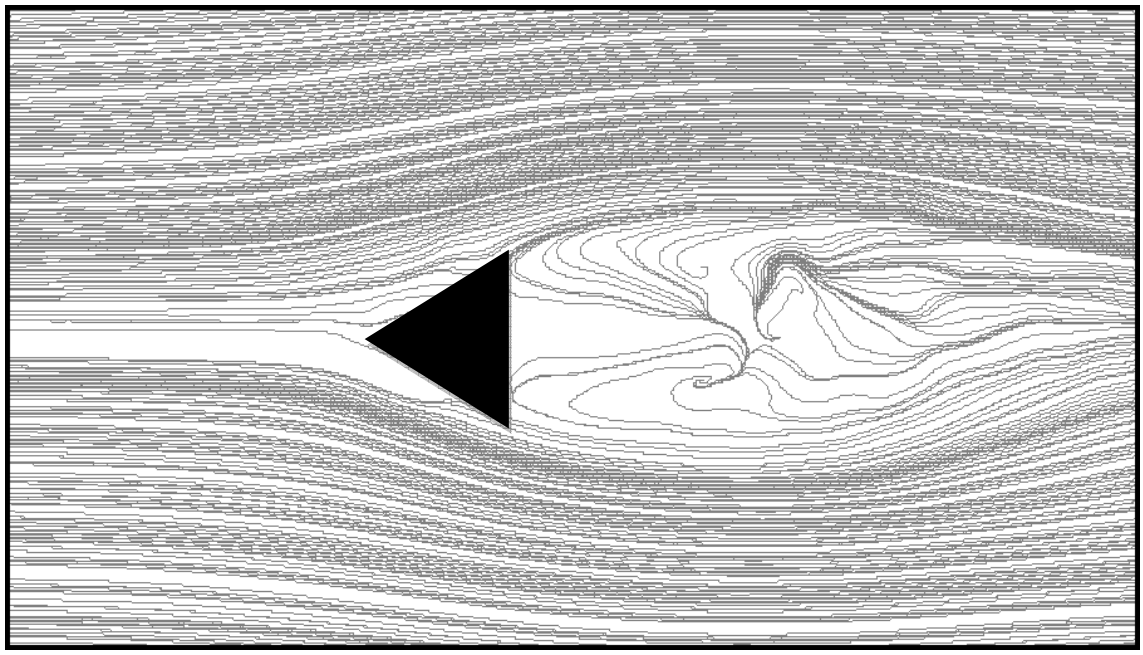


(a)

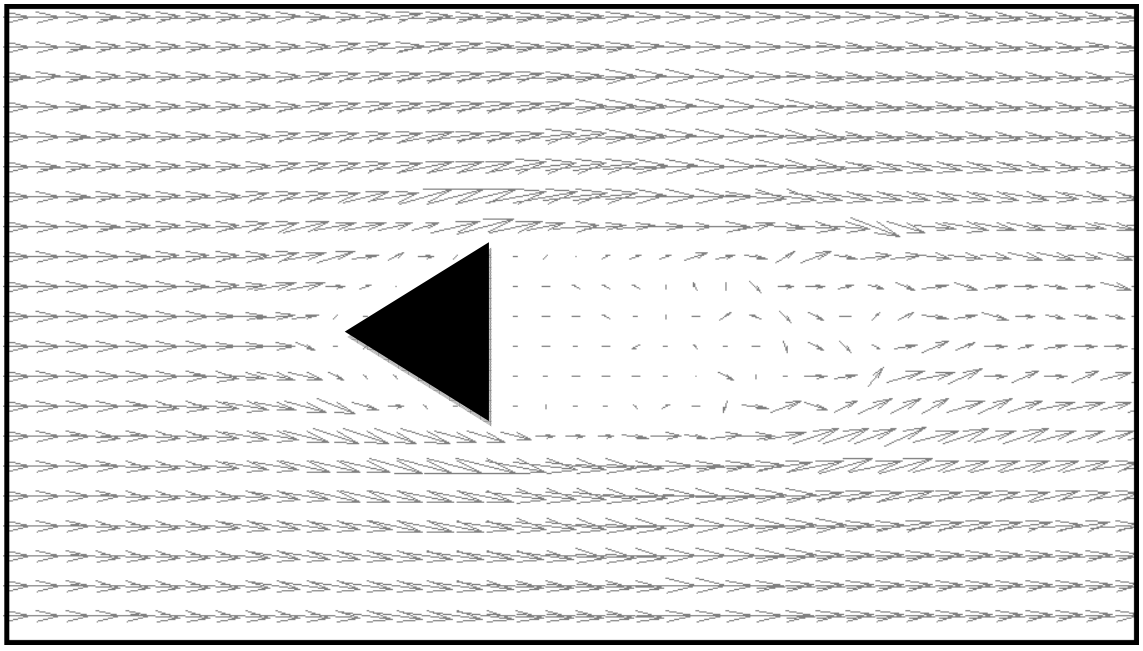


(b)

Şekil 5.40. B=20 mm Re=5.000 tek üçgene ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

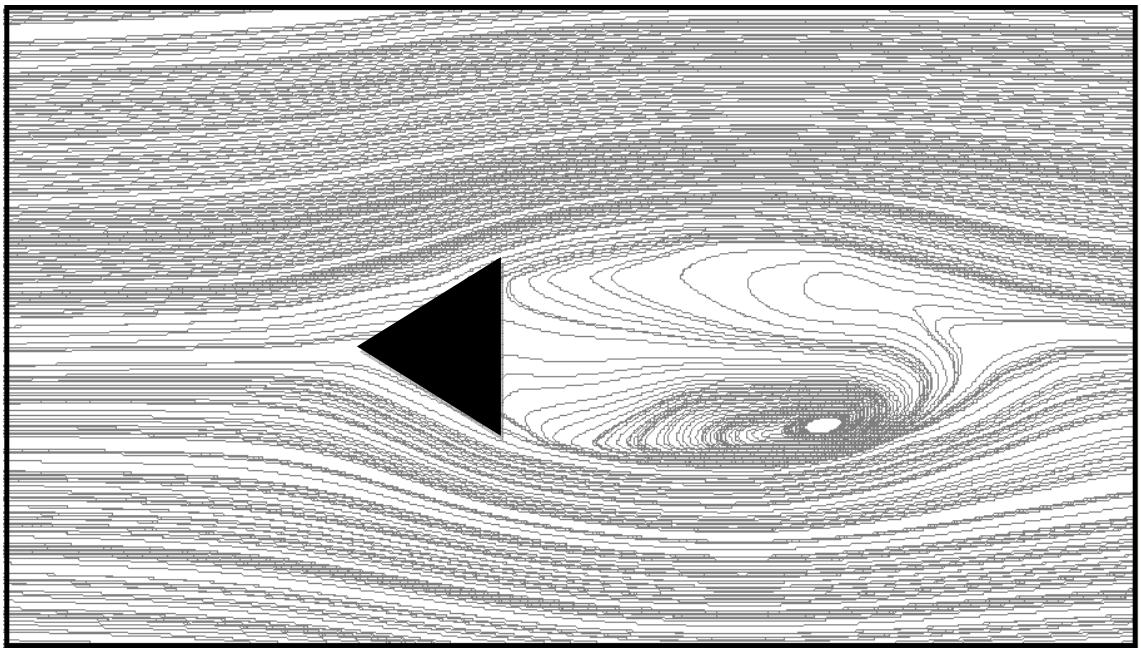


(a)

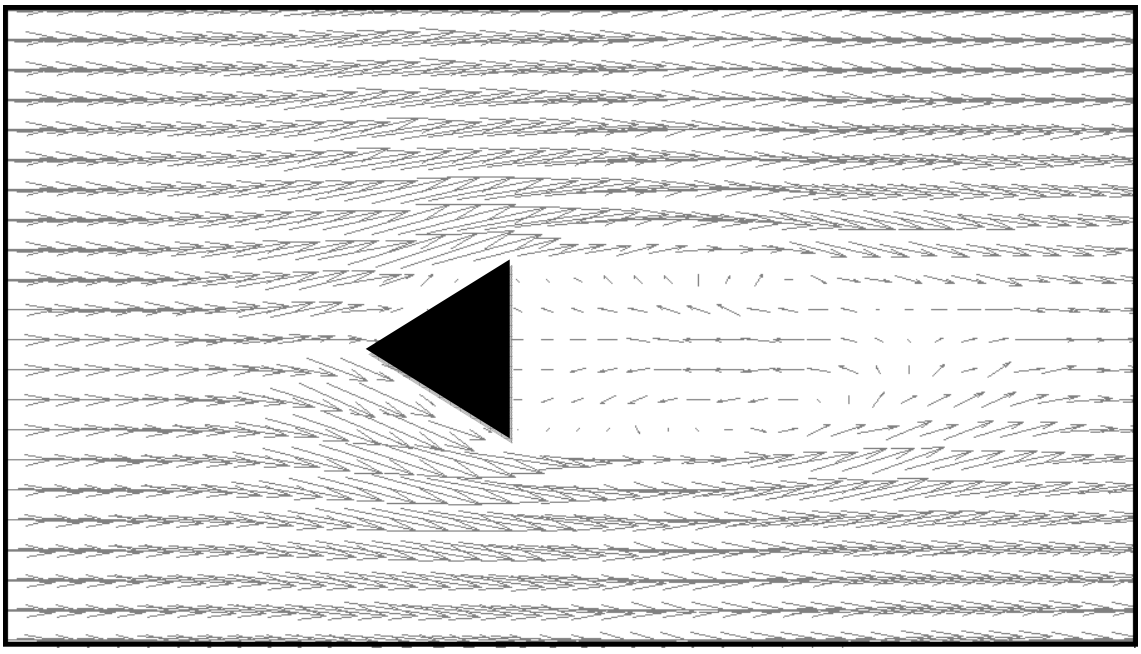


(b)

Şekil 5.41. B=20 mm Re=7.500 tek üçgene ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

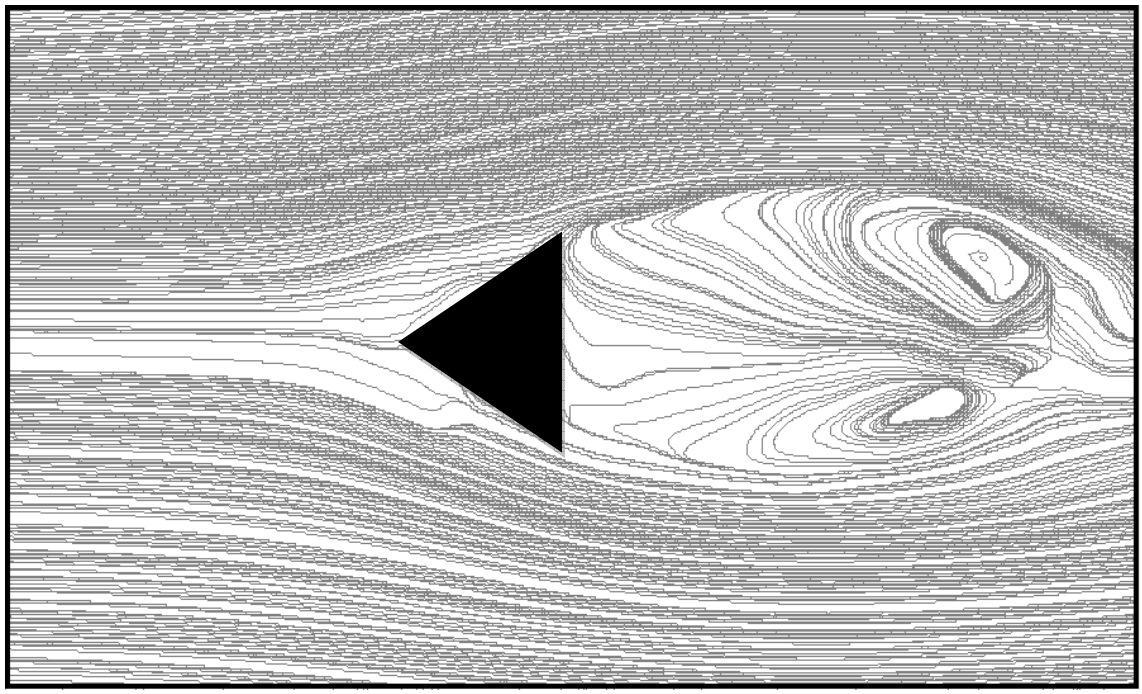


(a)

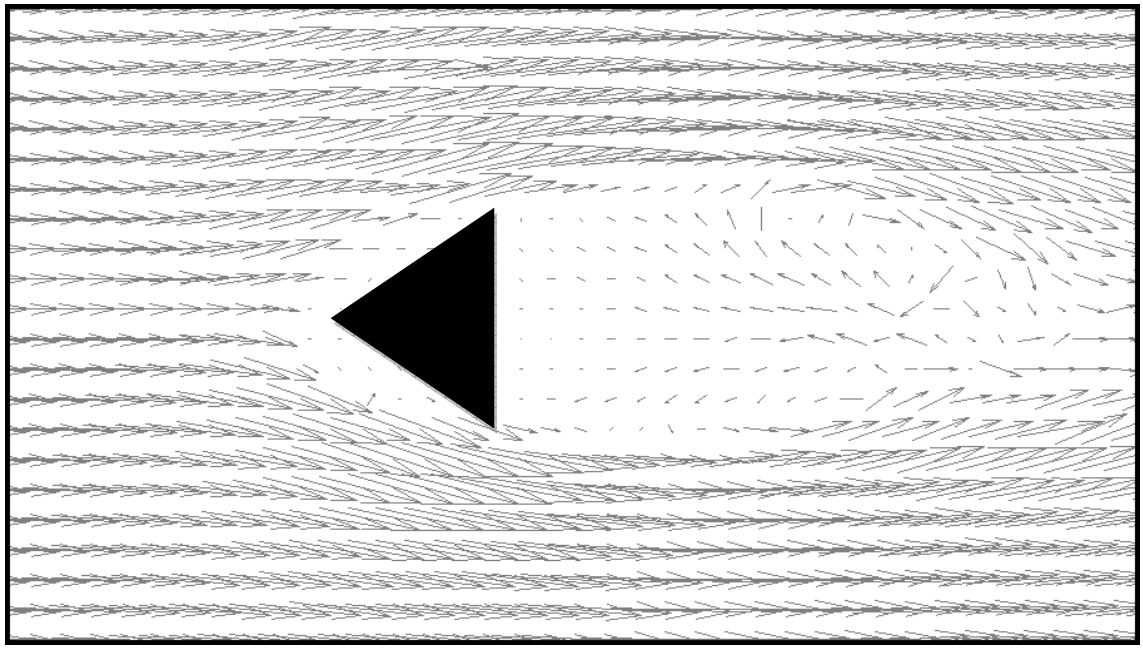


(b)

Şekil 5.42. B=20 mm Re=10.000 tek üçgene ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

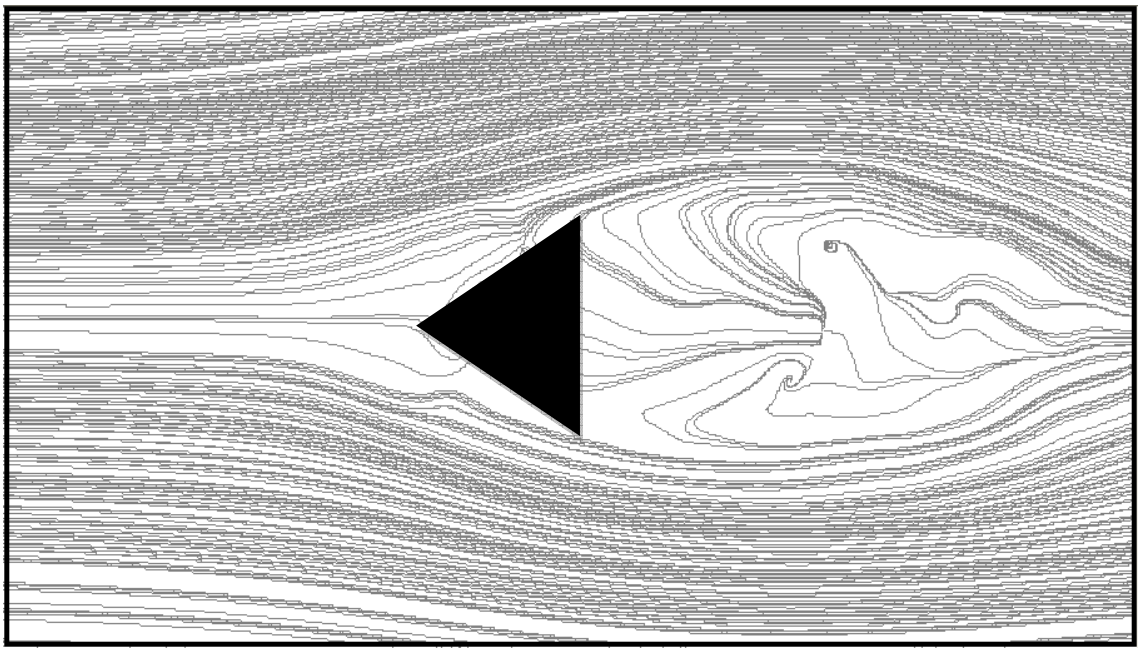


(a)

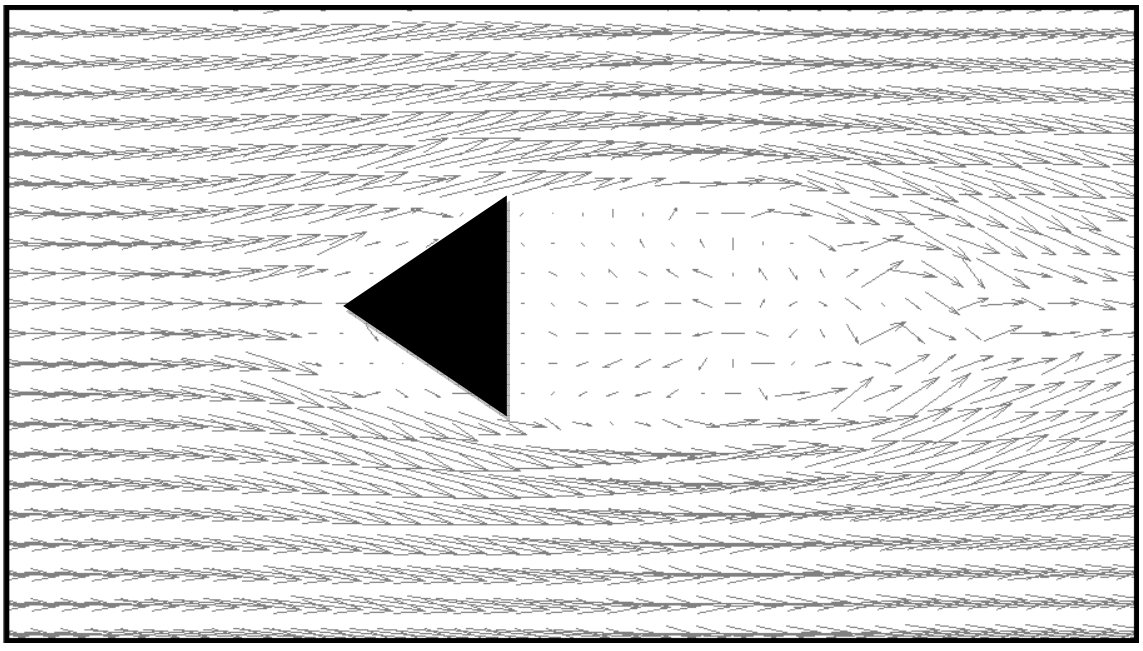


(b)

Şekil 5.43. B=25 mm Re=5.000 tek üçgene ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

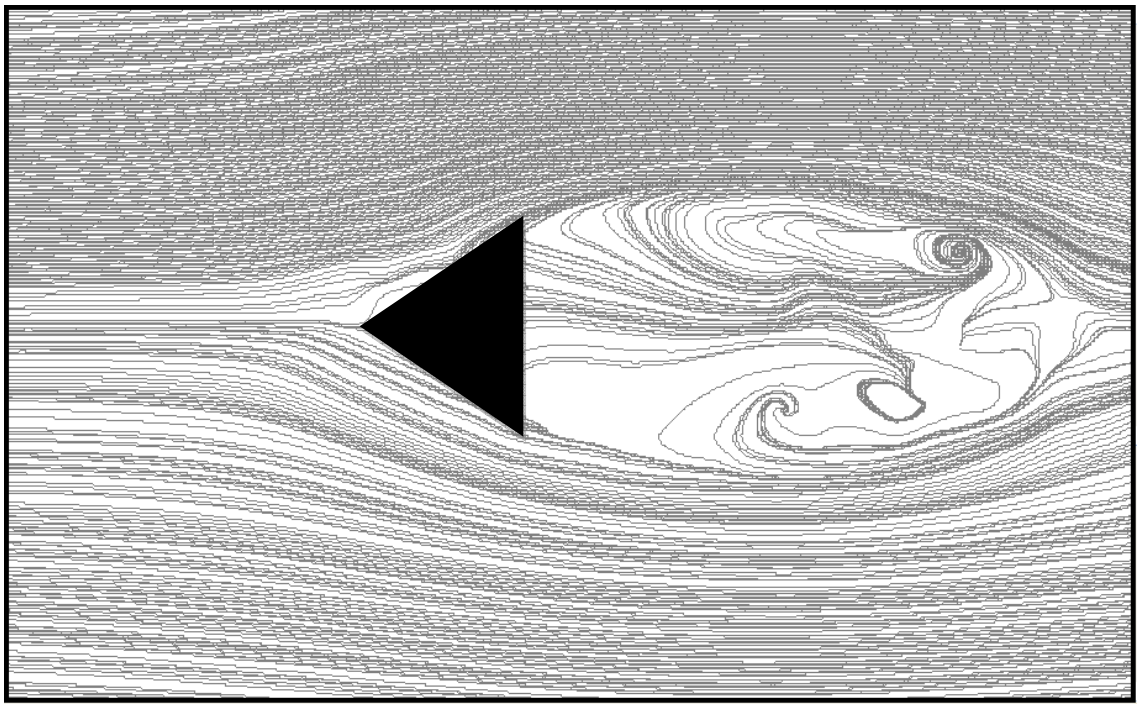


(a)

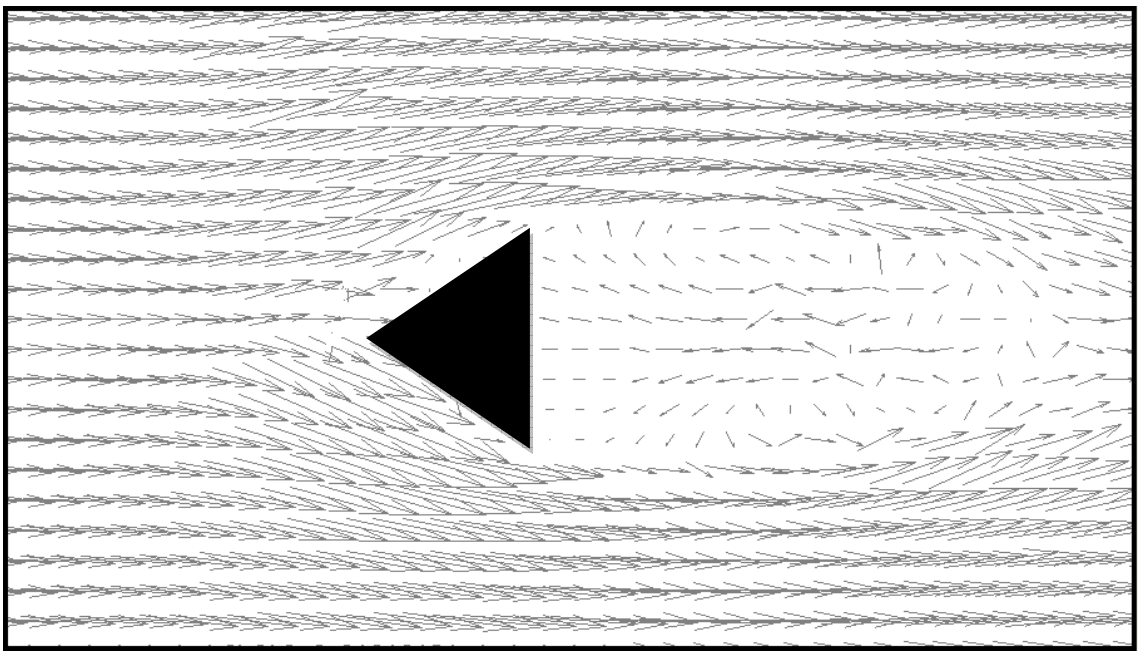


(b)

Şekil 5.44. B=25 mm Re=7.500 tek üçgene ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

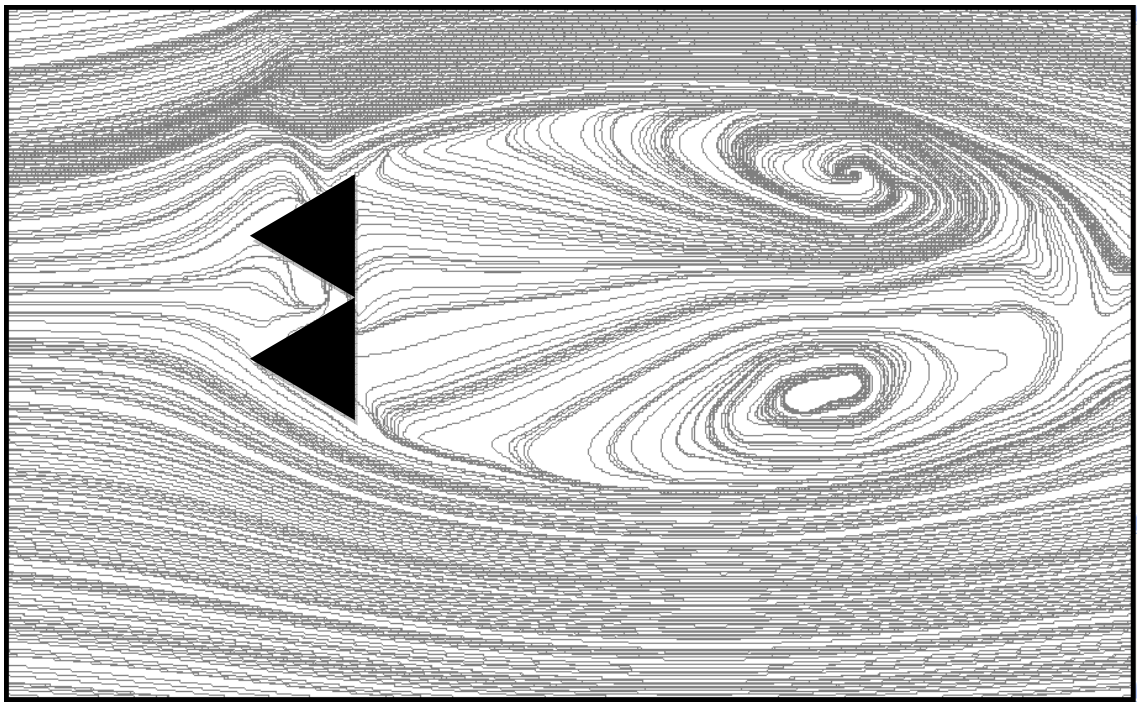


(a)

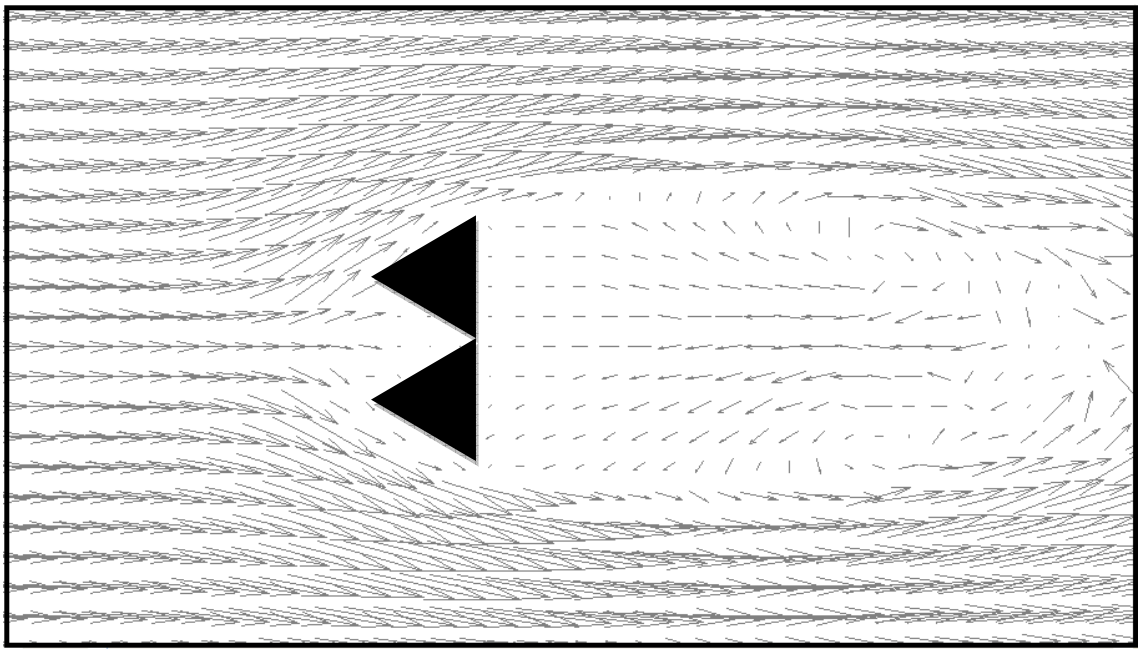


(b)

Şekil 5.45. B=25 mm Re=10.000 tek üçgene ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

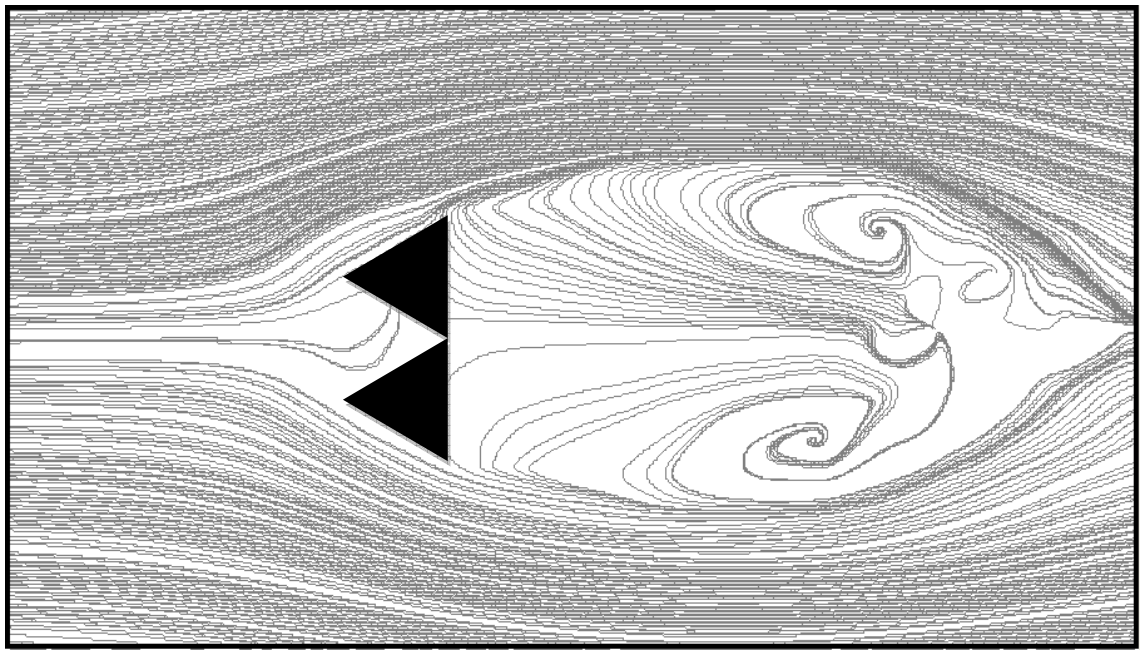


(a)

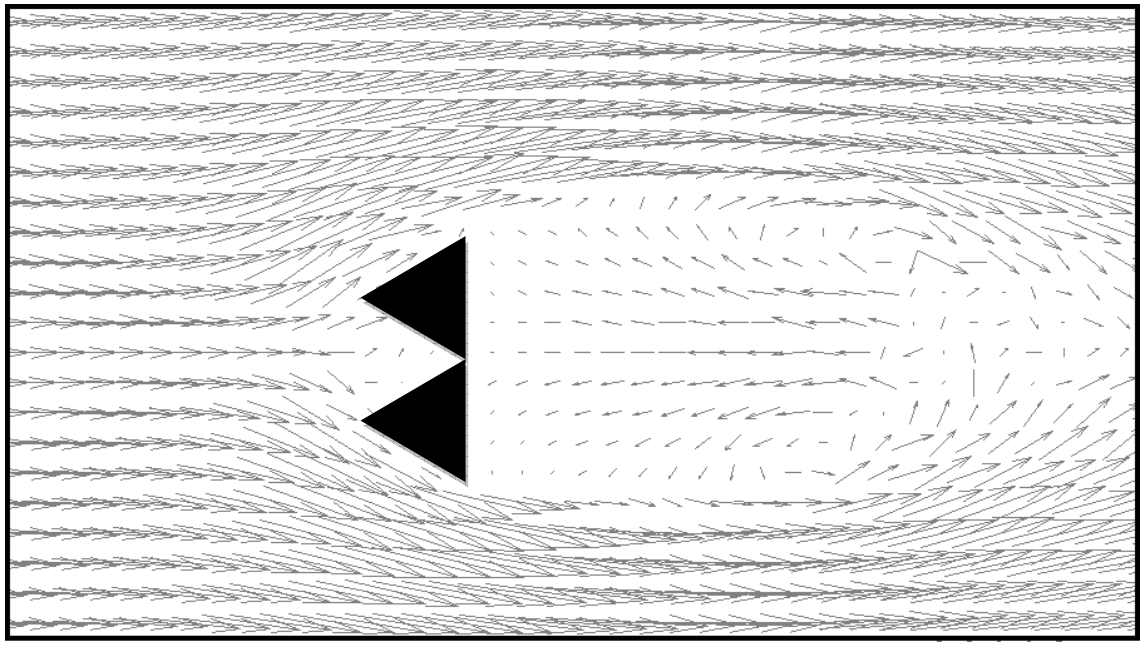


(b)

Şekil 5.46. B=15 mm W/B=0 durumu için Re=5.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

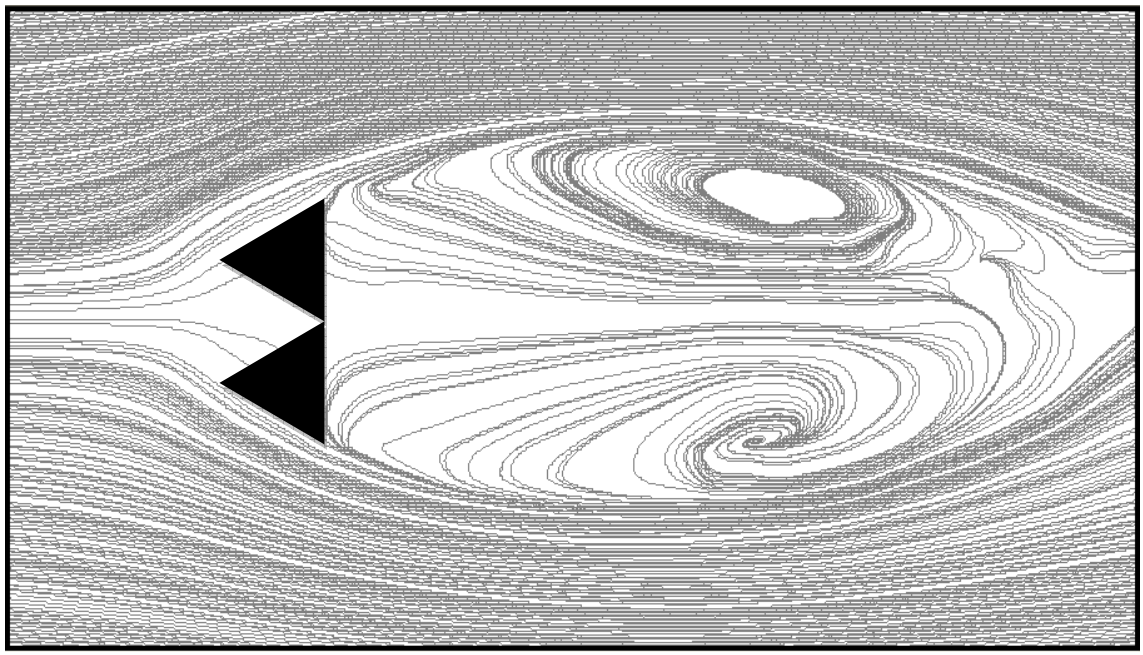


(a)

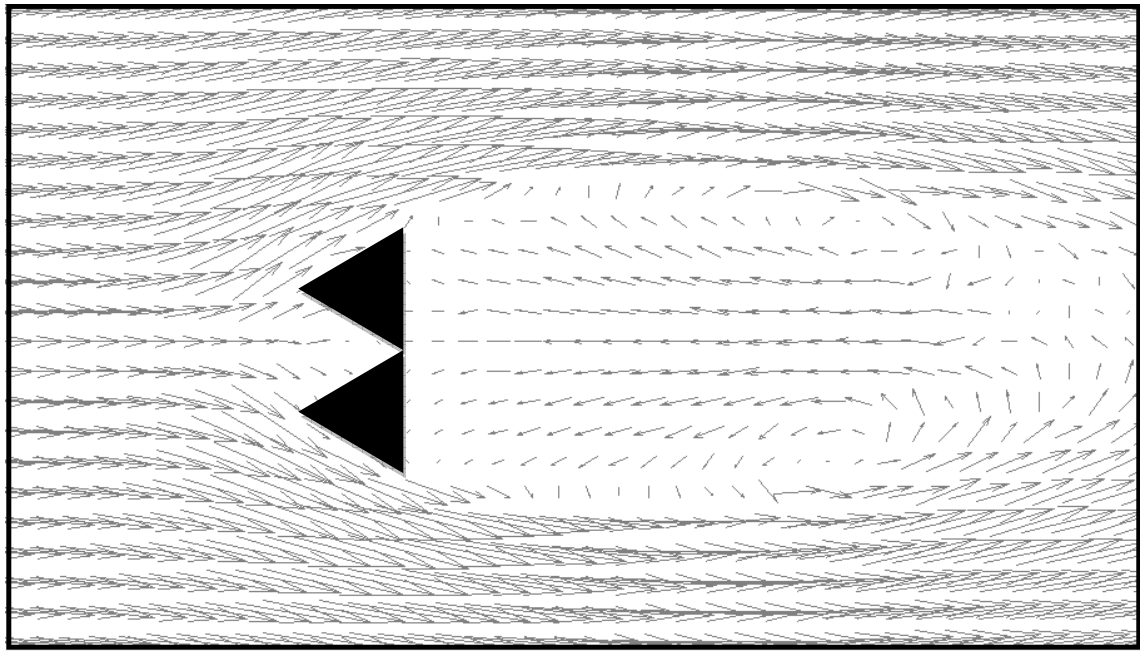


(b)

Şekil 5.47. B=15 mm W/B=0 durumu için Re=7.500'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

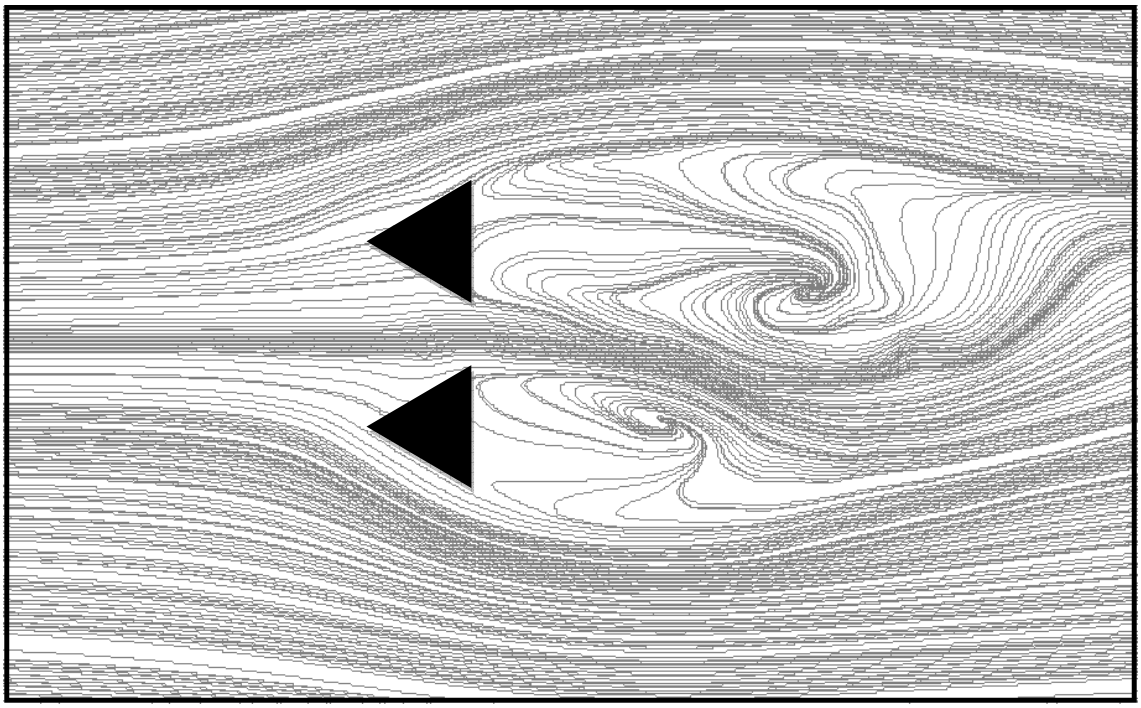


(a)

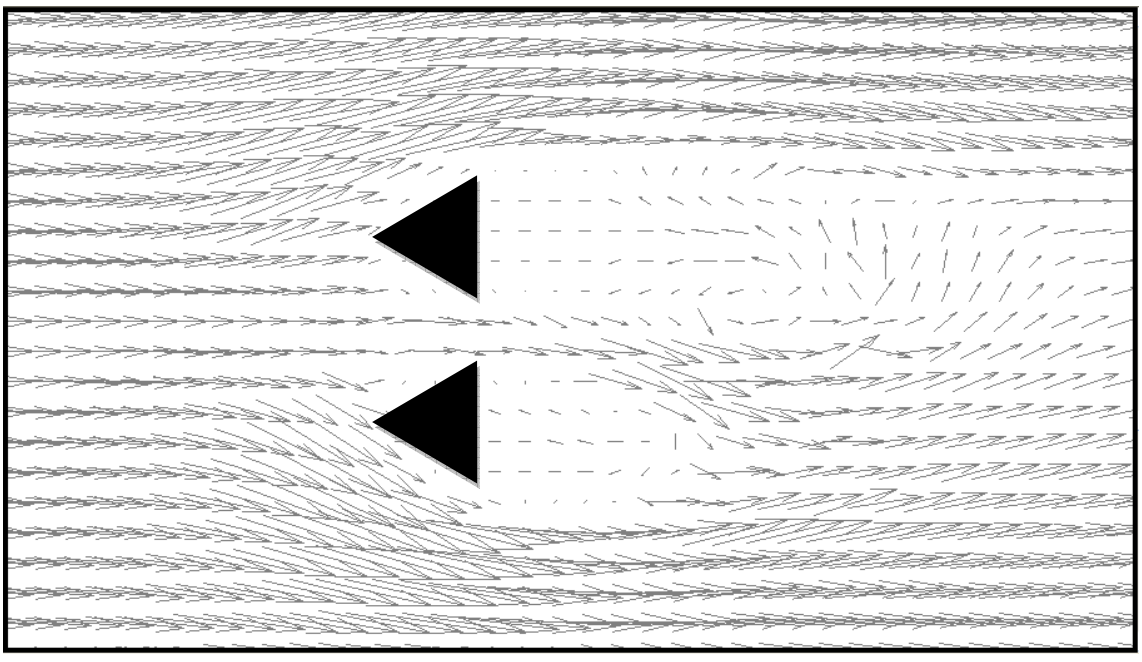


(b)

Şekil 5.48. B=15 mm W/B=0 durumu için Re=10.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

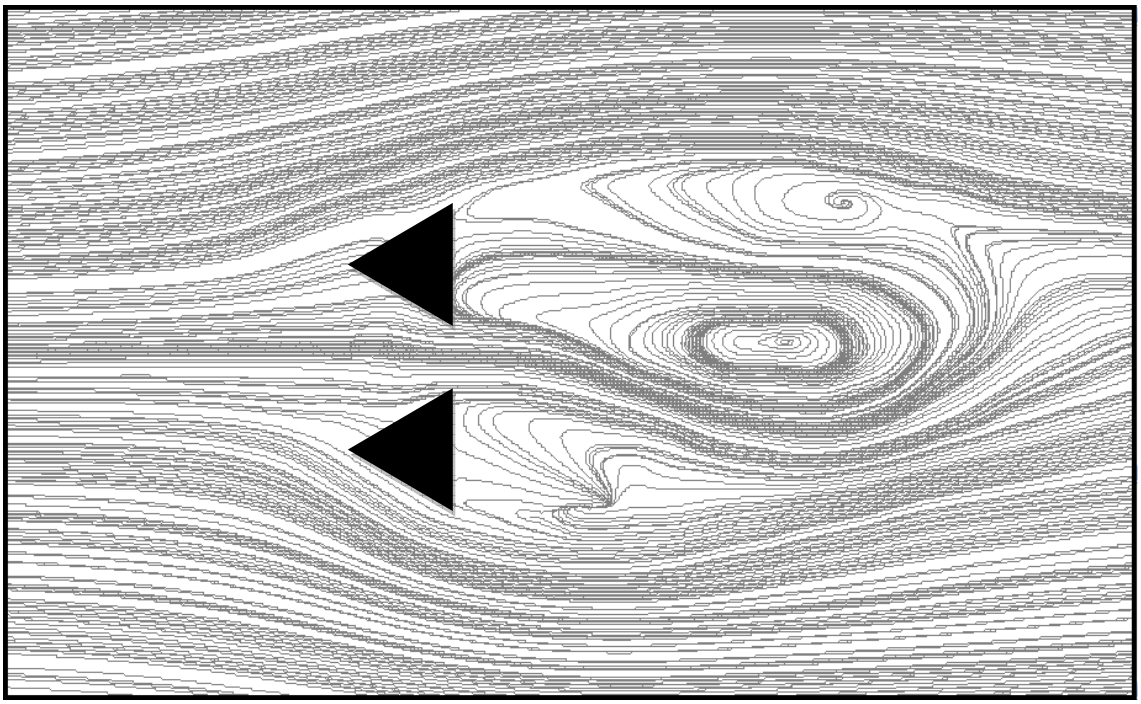


(a)

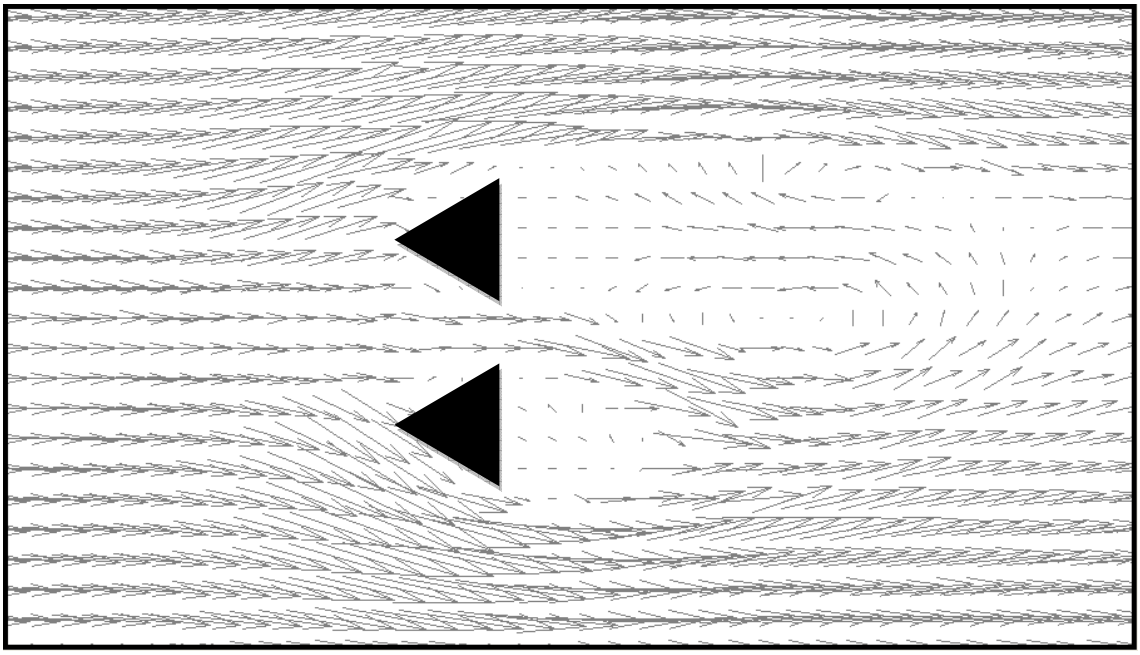


(b)

Şekil 5.49. B=15 mm W/B=0.5 durumu için Re=5.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

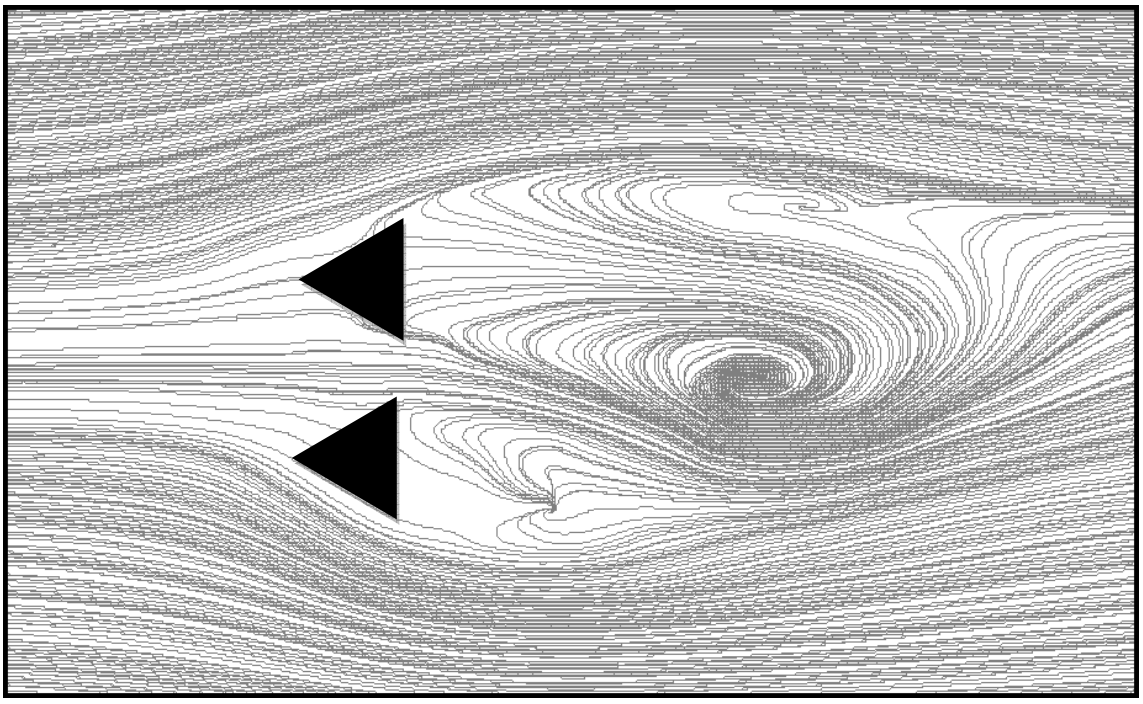


(a)

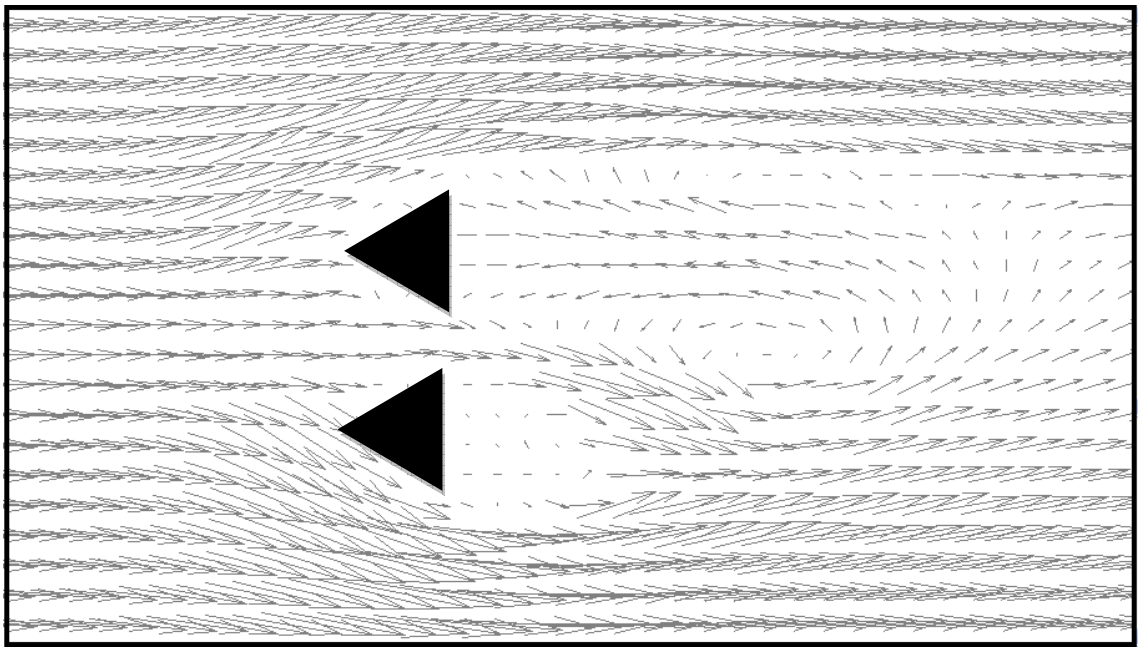


(b)

Şekil 5.50. B=15 mm W/B=0.5 durumu için Re=7.500'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

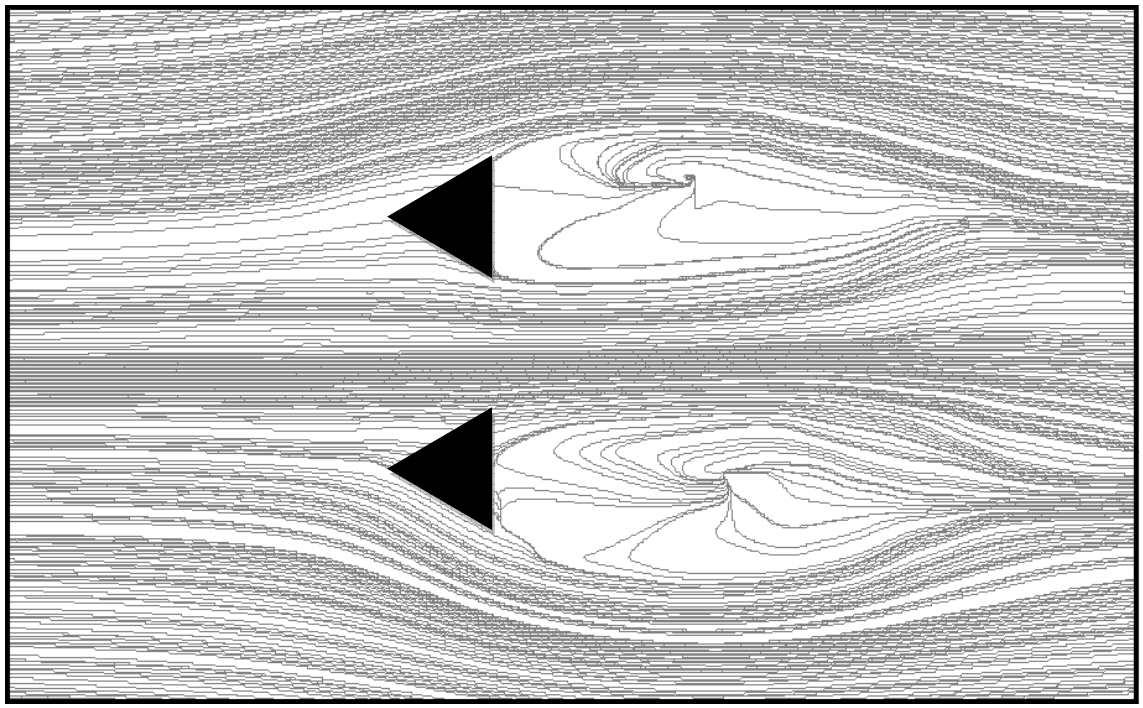


(a)

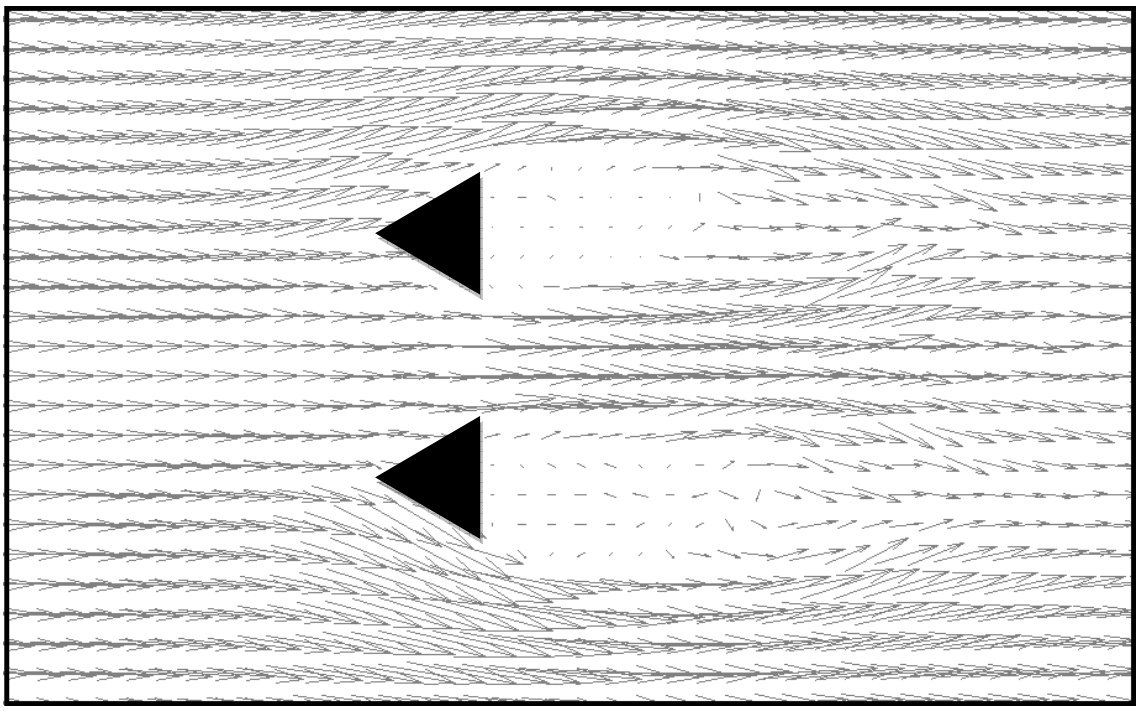


(b)

Şekil 5.51. B=15 mm W/B=0.5 durumu için Re=10.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

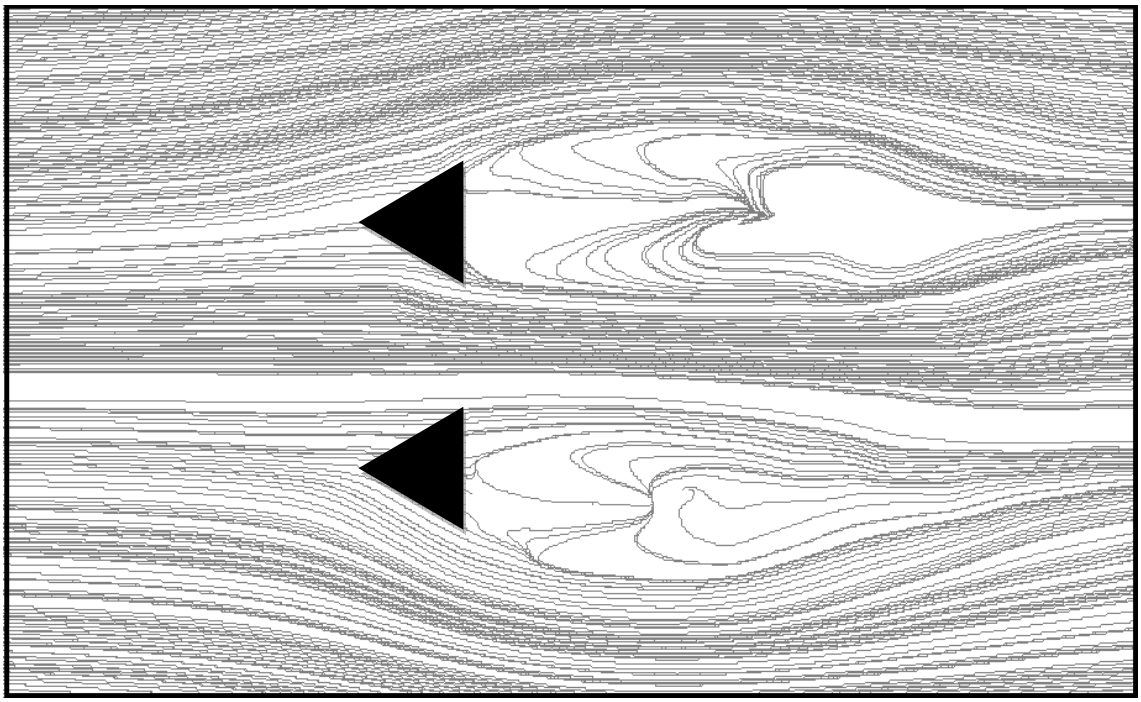


(a)

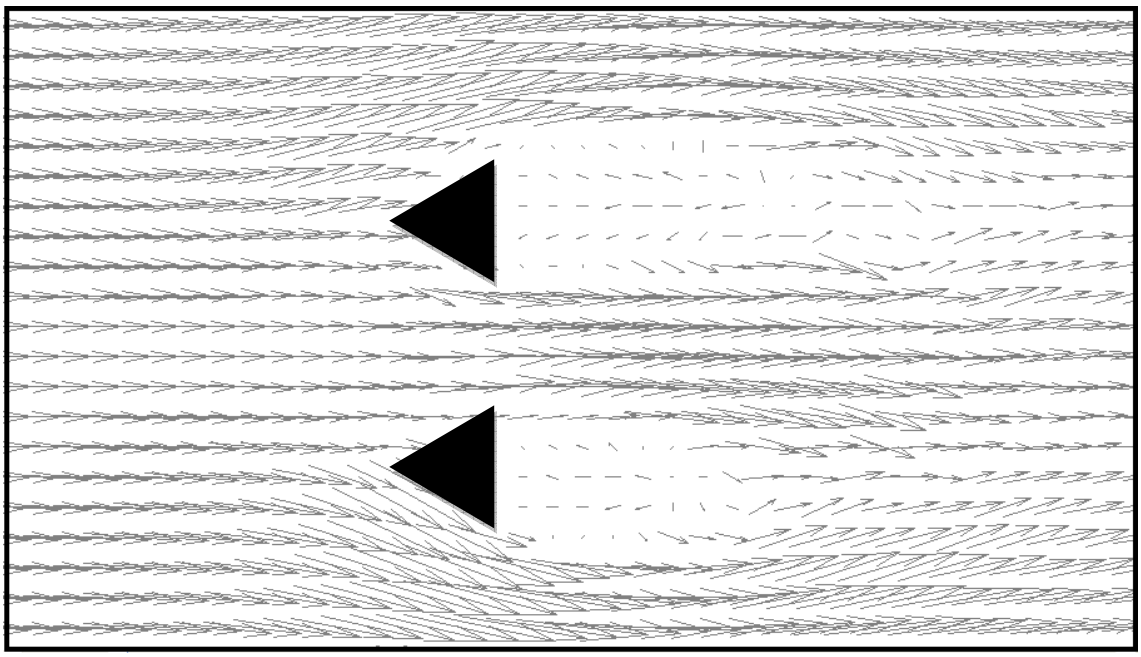


(b)

Şekil 5.52. B=15 mm W/B=1 durumu için Re=5.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

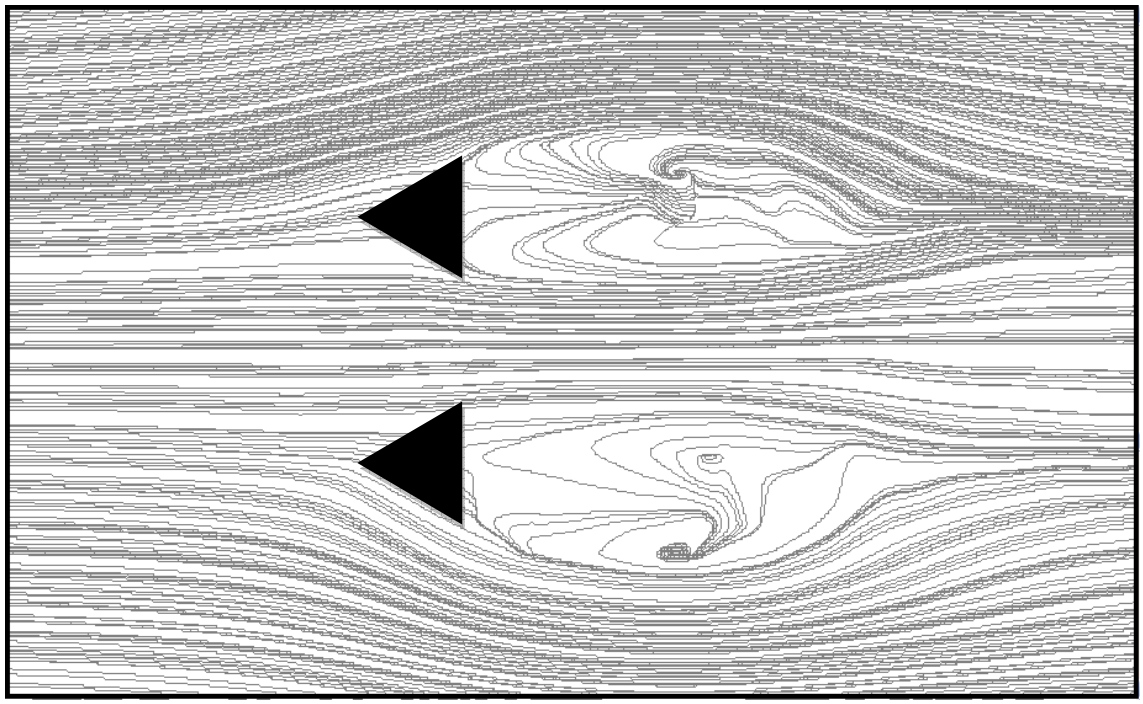


(a)

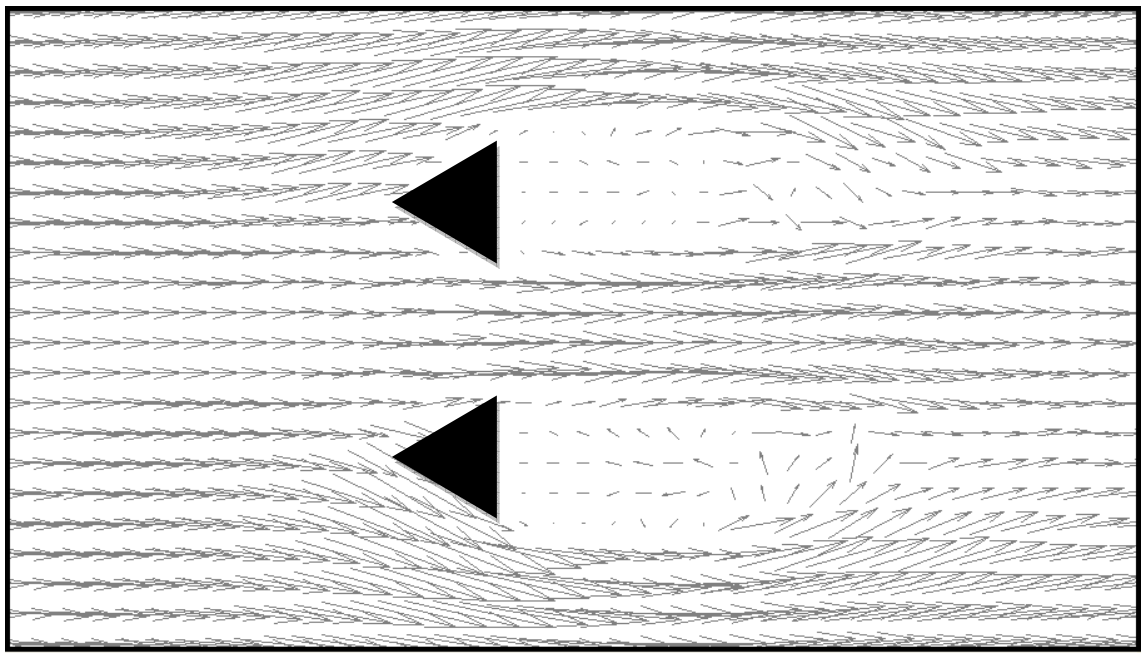


(b)

Şekil 5.53. B=15 mm W/B=1 durumu için Re=7.500'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

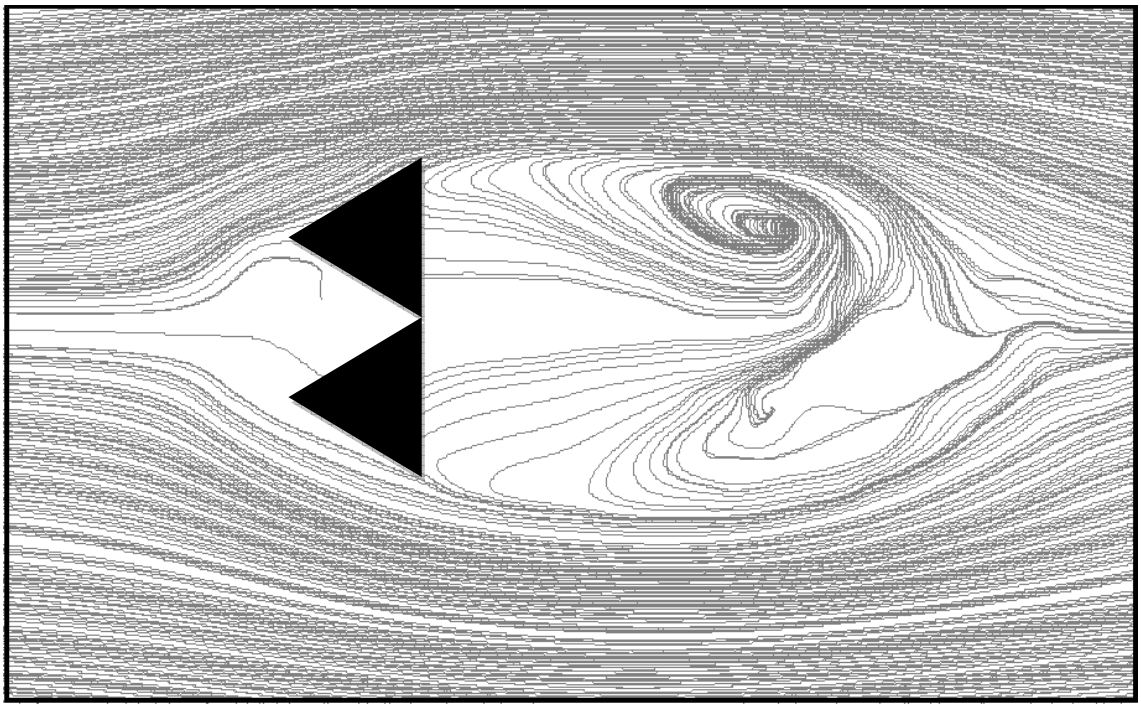


(a)

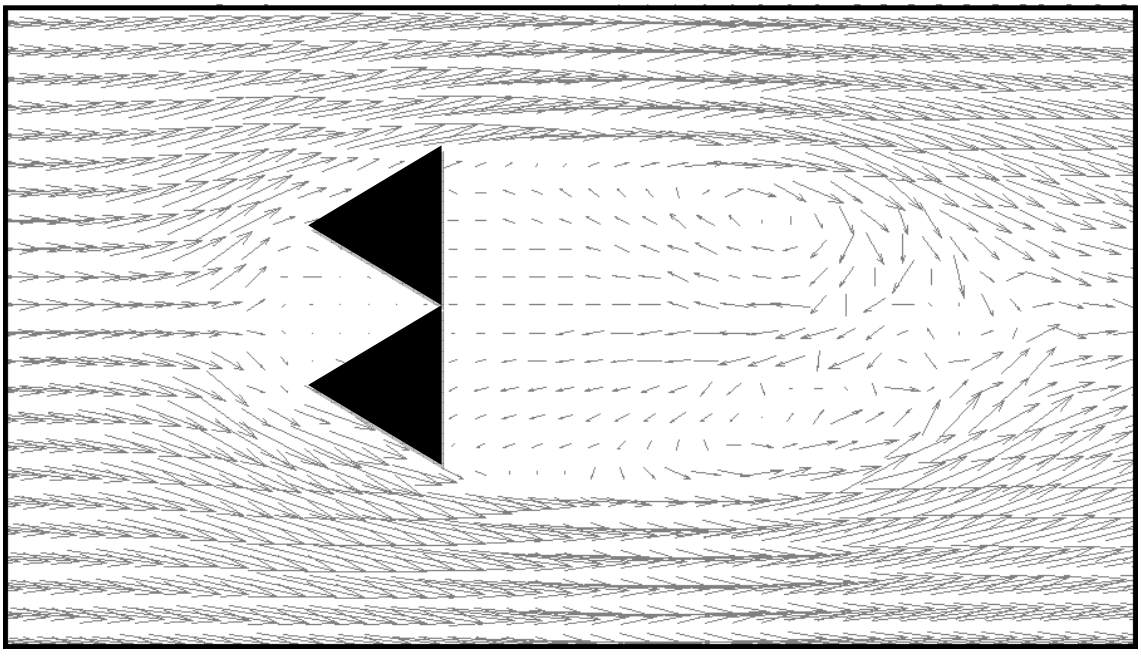


(b)

Şekil 5.54. B=15 mm W/B=1 durumu için Re=10.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

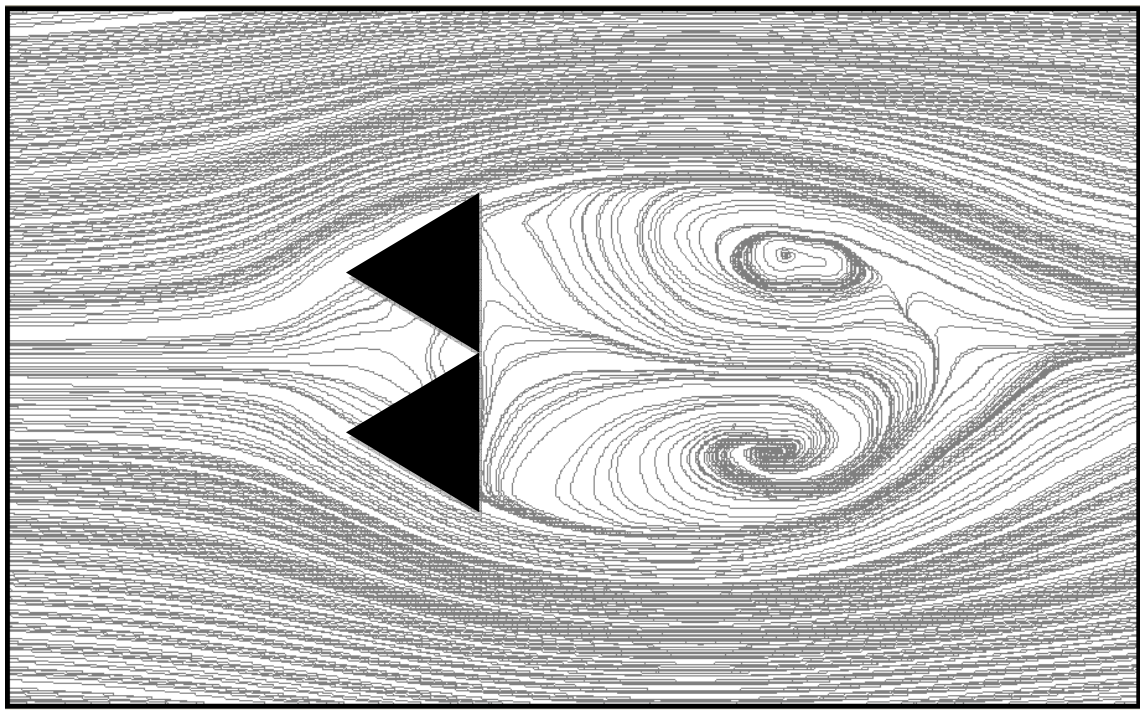


(a)

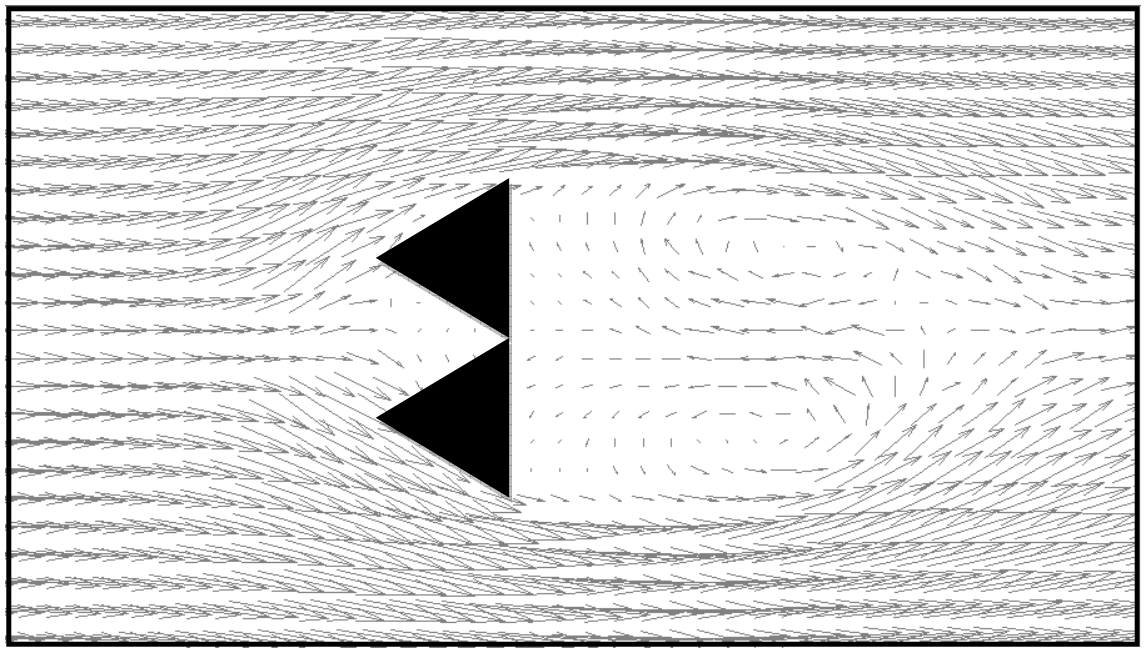


(b)

Şekil 5.55. B=20 mm W/B=0 durumu için Re=5.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

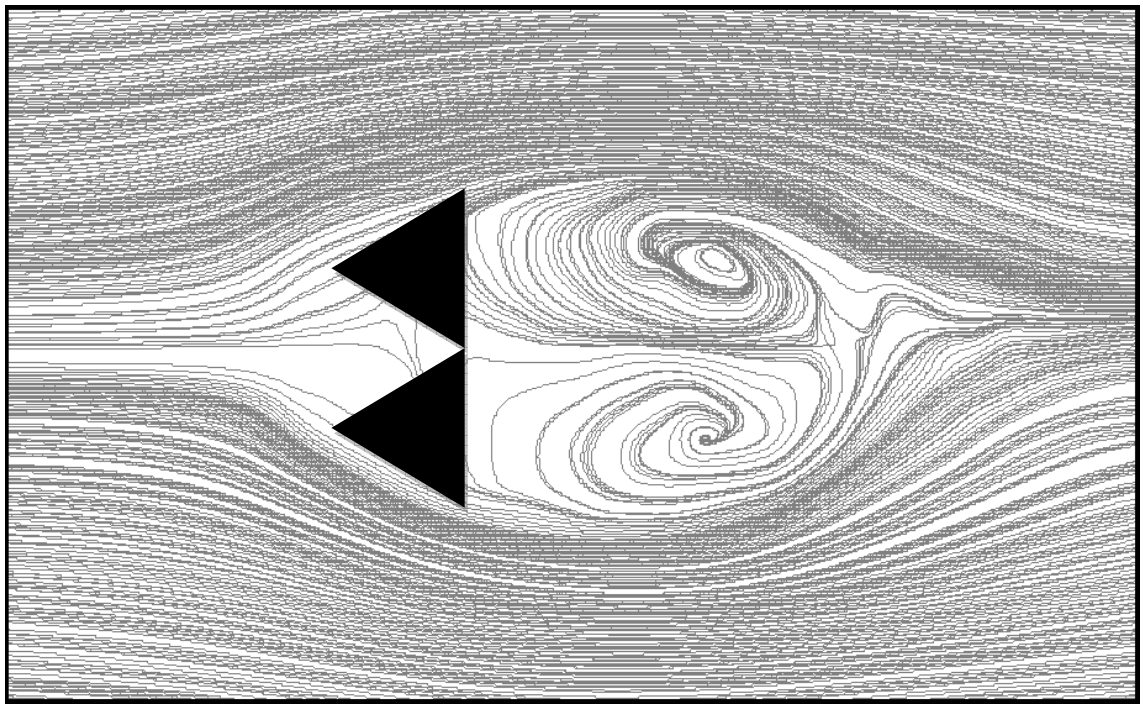


(a)

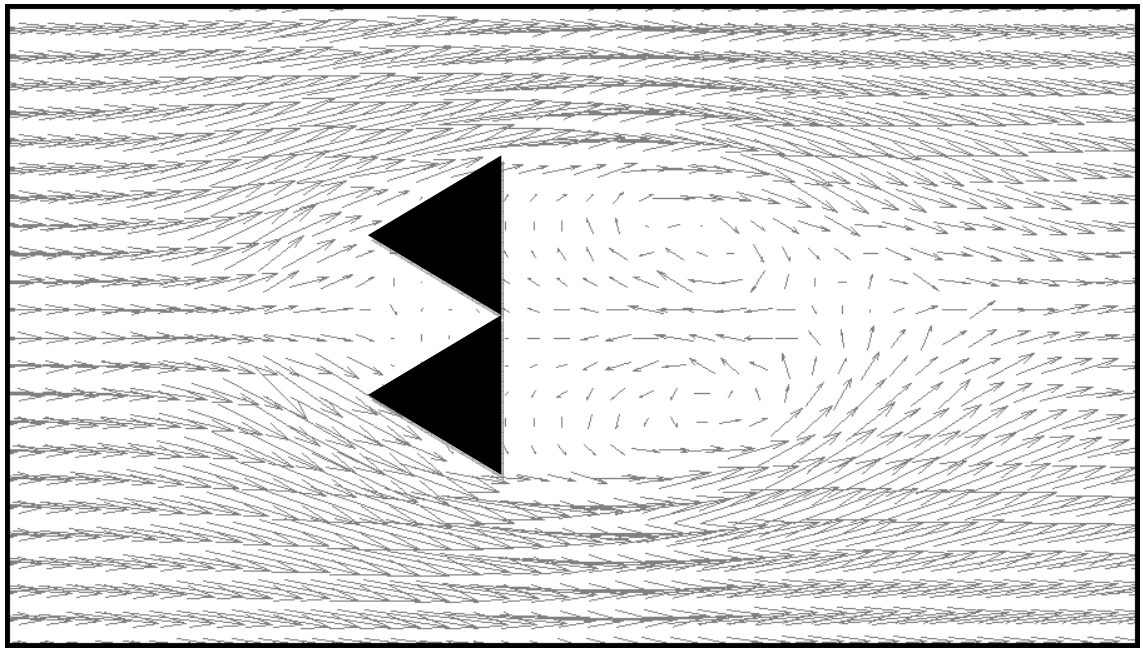


(b)

Şekil 5.56. B=20 mm W/B=0 durumu için Re=7.5000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

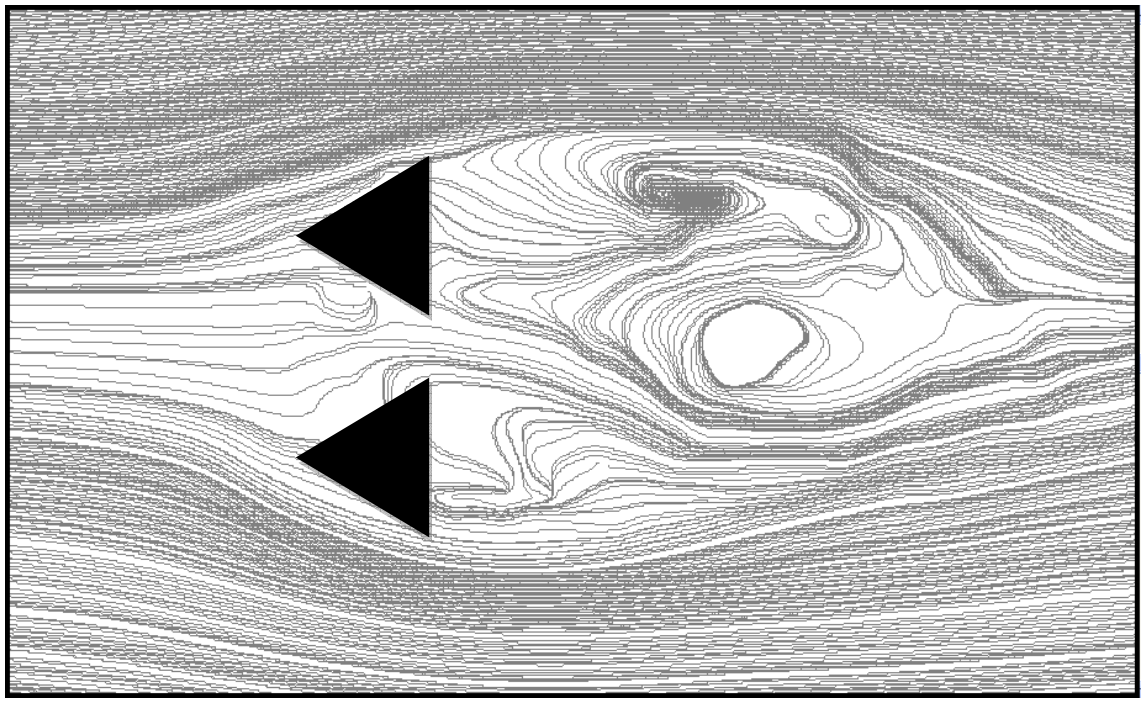


(a)

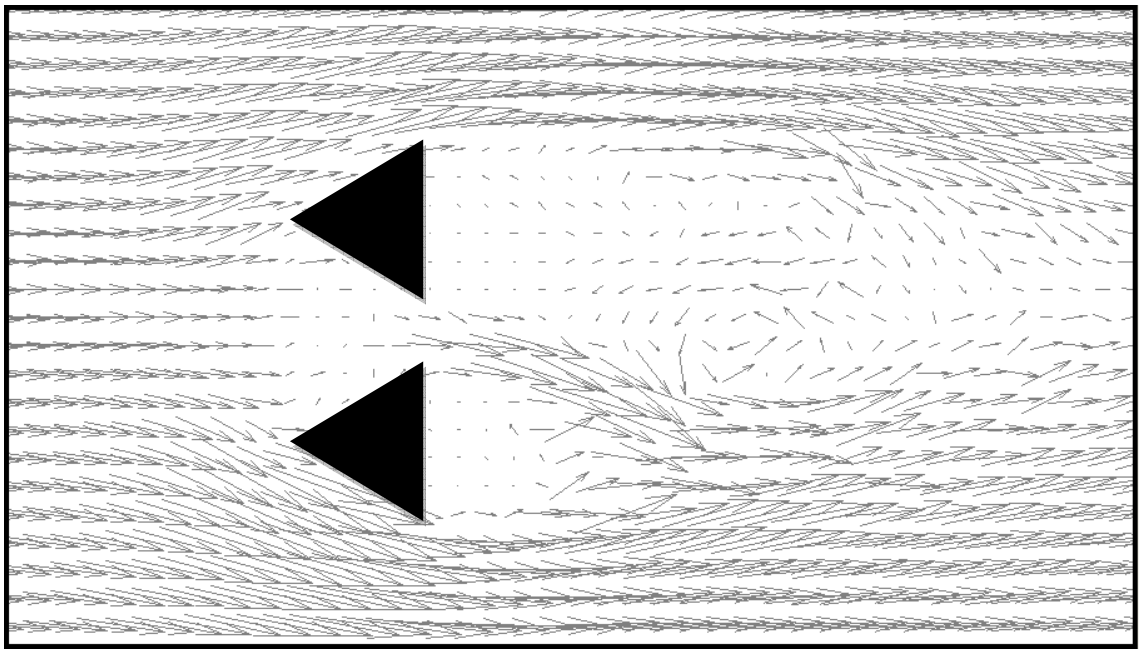


(b)

Şekil 5.57. B=20 mm W/B=0 durumu için Re=10.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

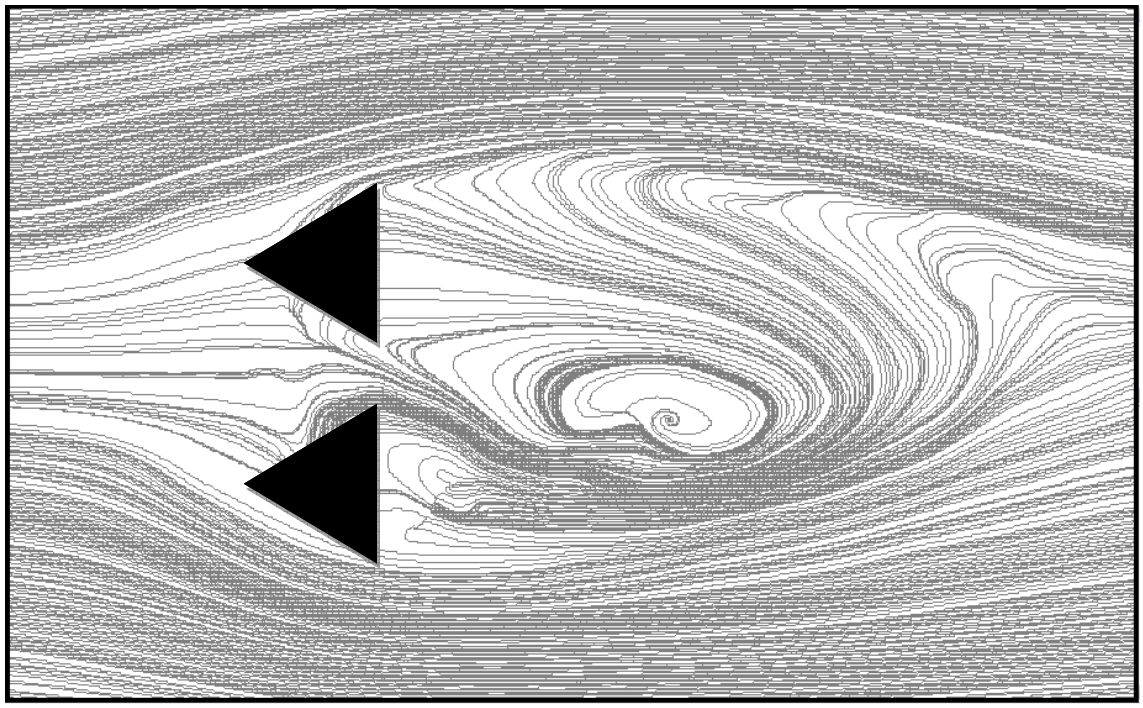


(a)

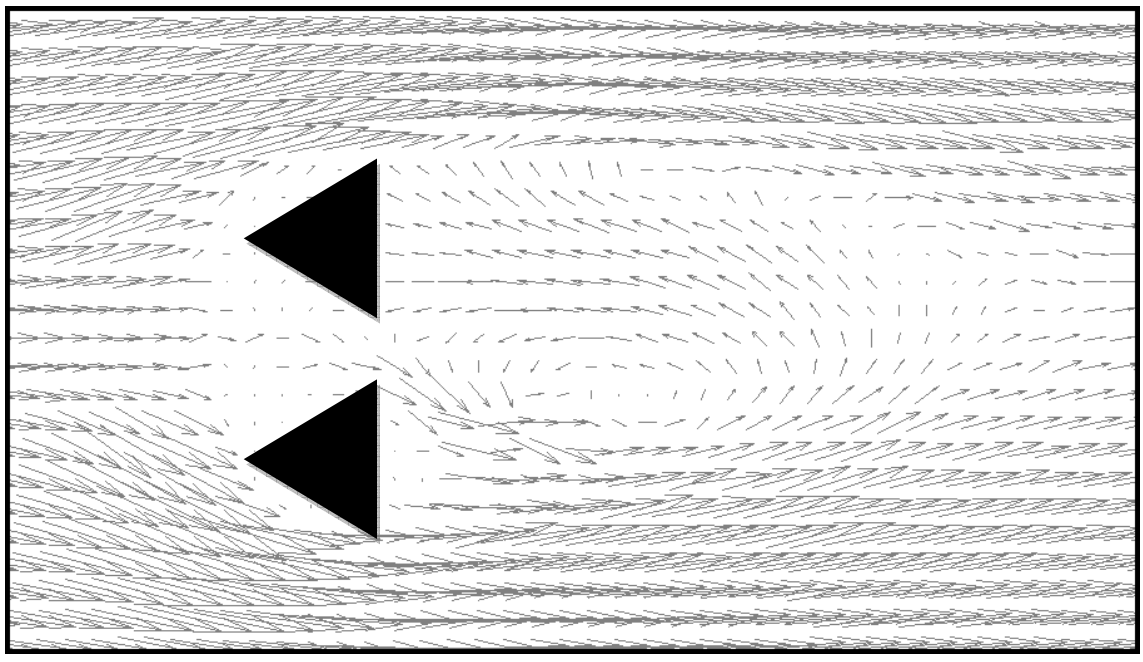


(b)

Şekil 5.58. B=20 mm W/B=0.5 durumu için Re=5.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

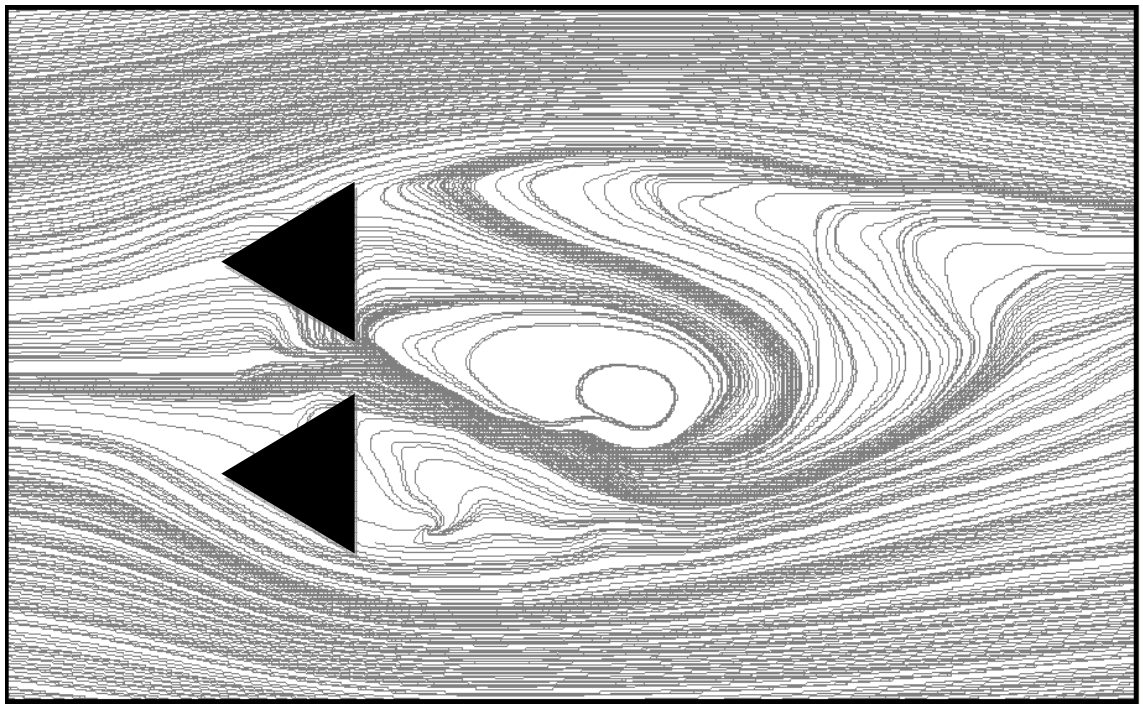


(a)

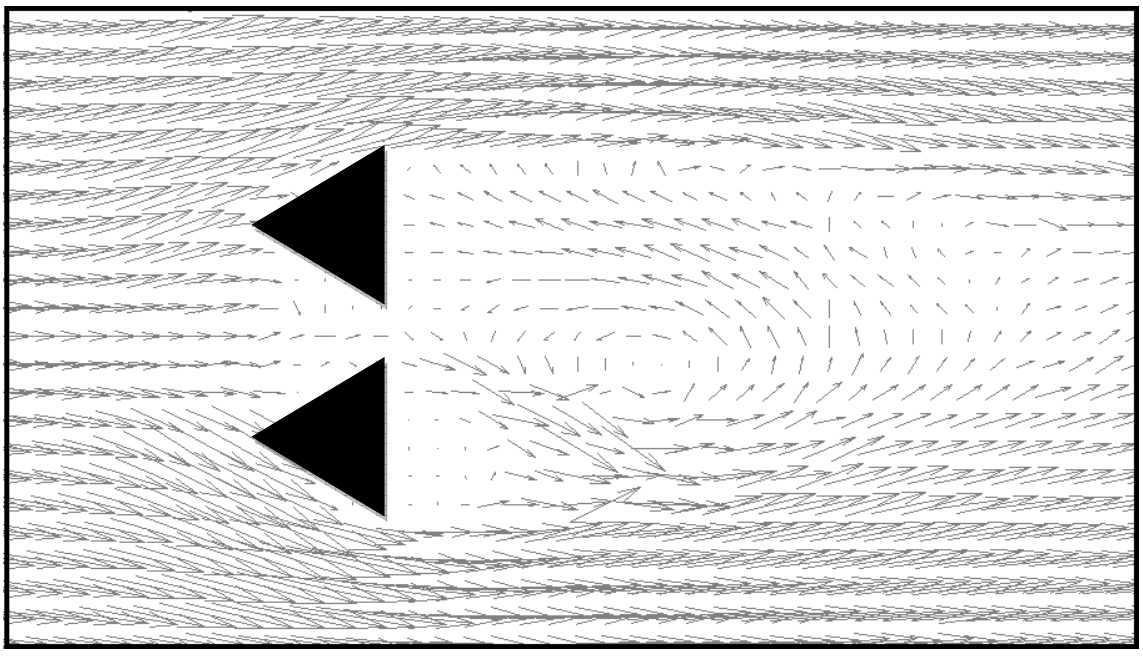


(b)

Şekil 5.59. B=20 mm W/B=0.5 durumu için Re=7.500'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

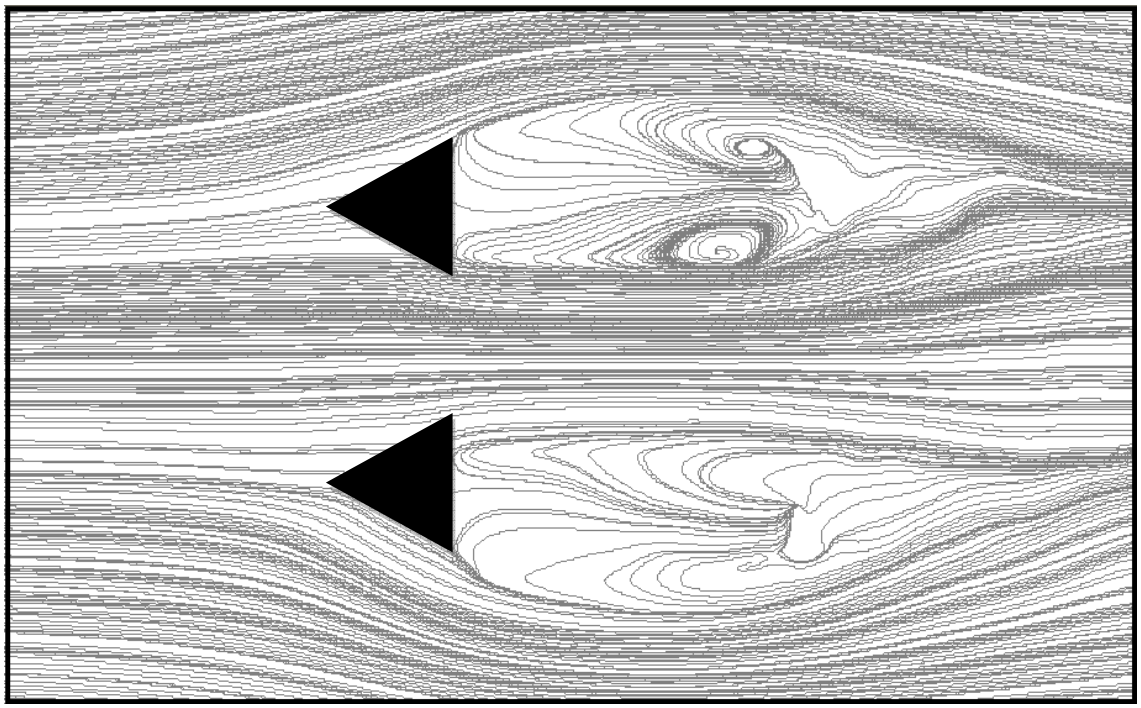


(a)

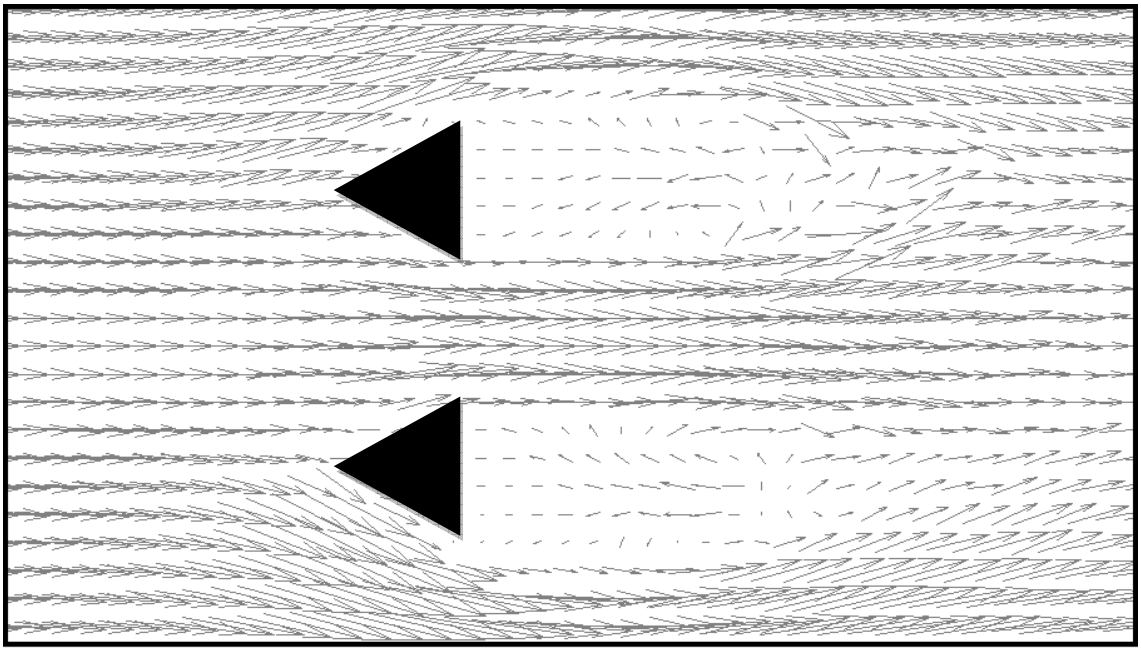


(b)

Şekil 5.60. B=20 mm W/B=0.5 durumu için Re=10.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

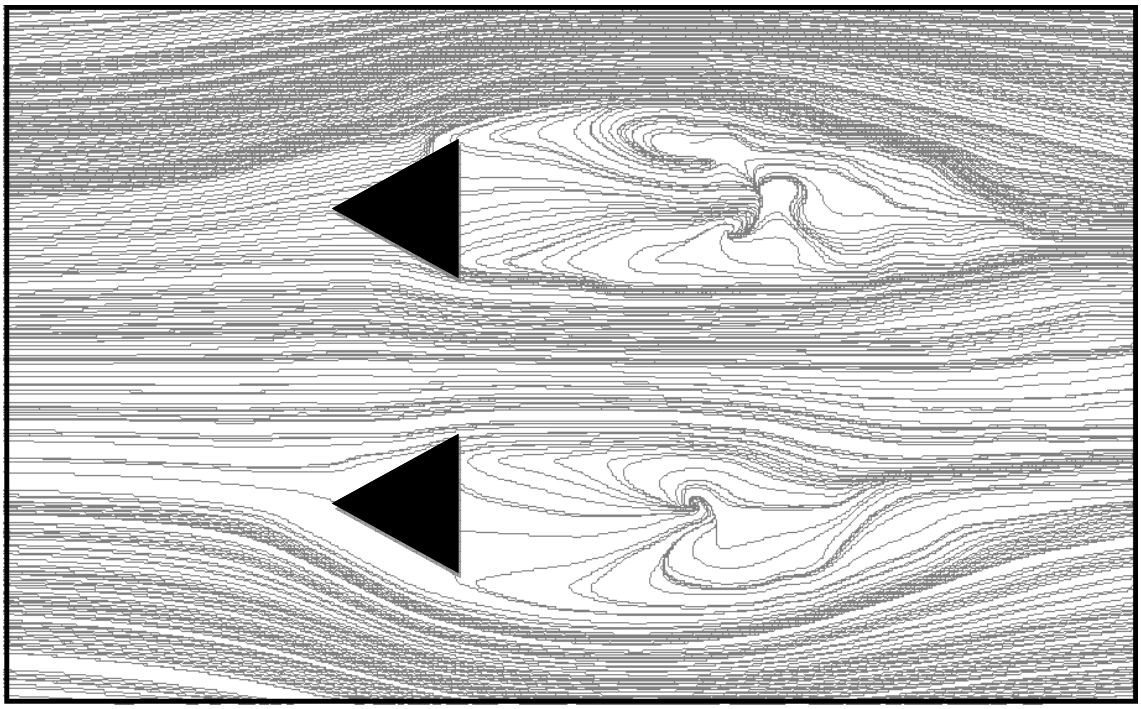


(a)

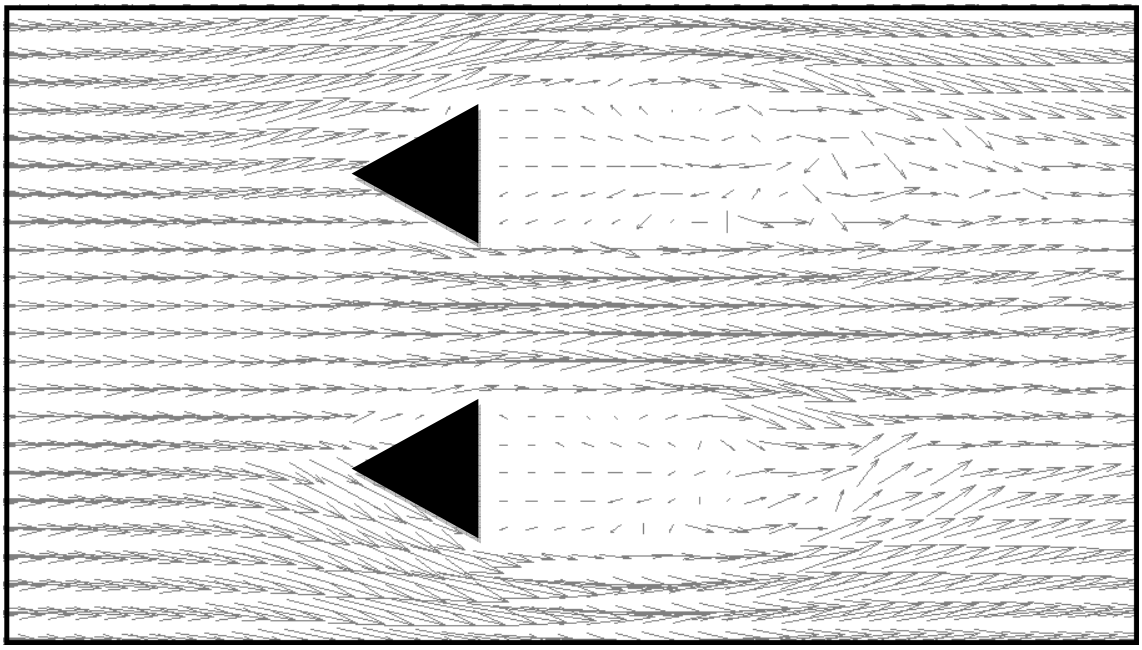


(b)

Şekil 5.61. B=20 mm W/B=1 durumu için Re=5.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

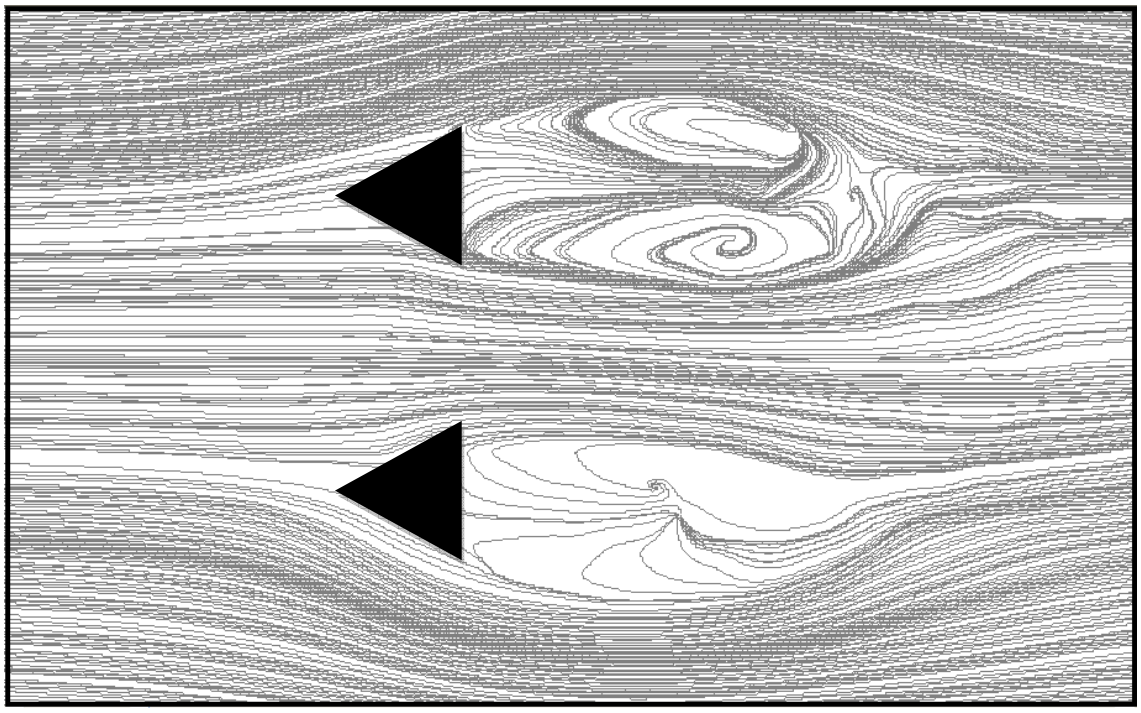


(a)

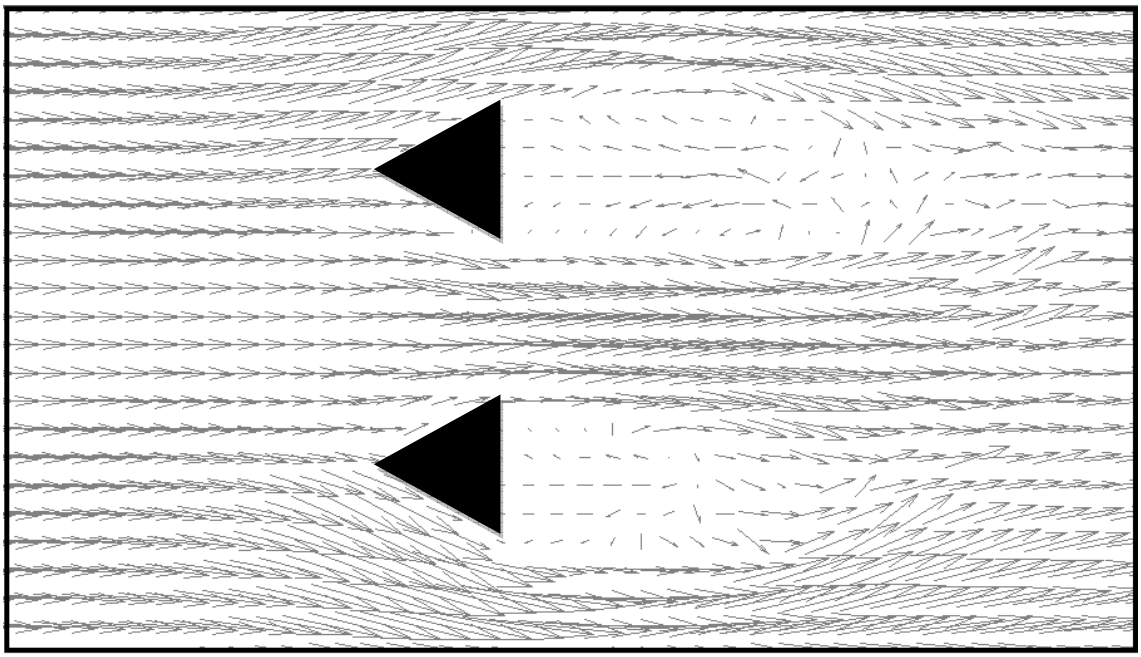


(b)

Şekil 5.62. B=20 mm W/B=1 durumu için Re=7.500'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

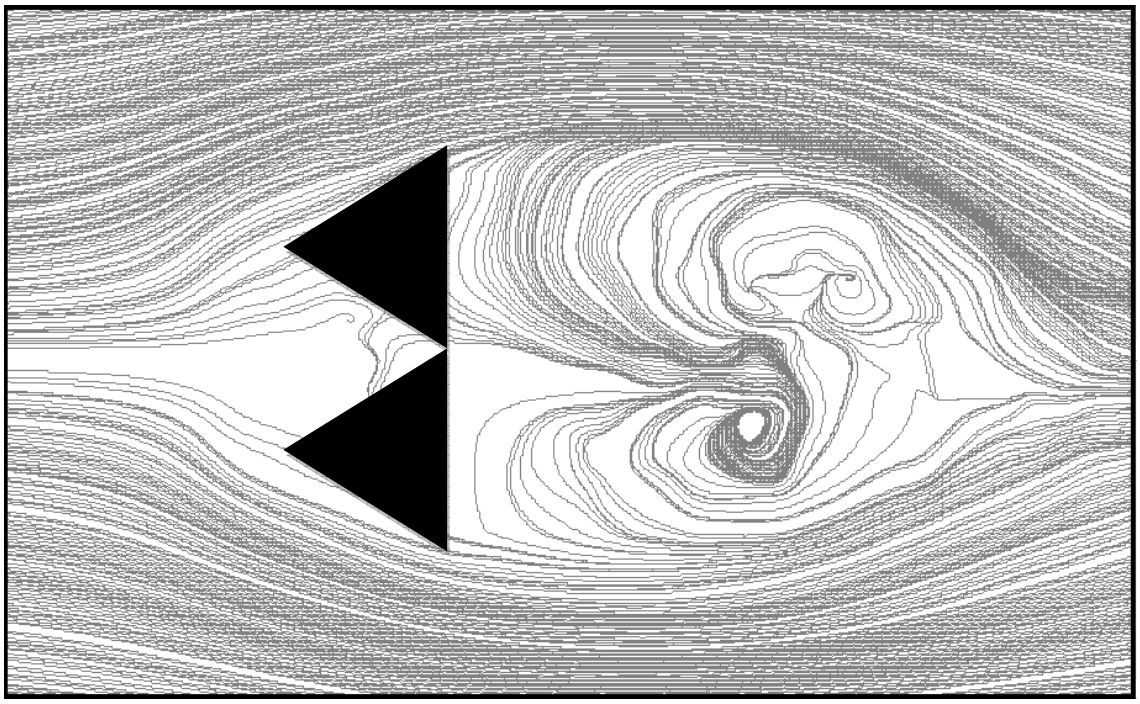


(a)

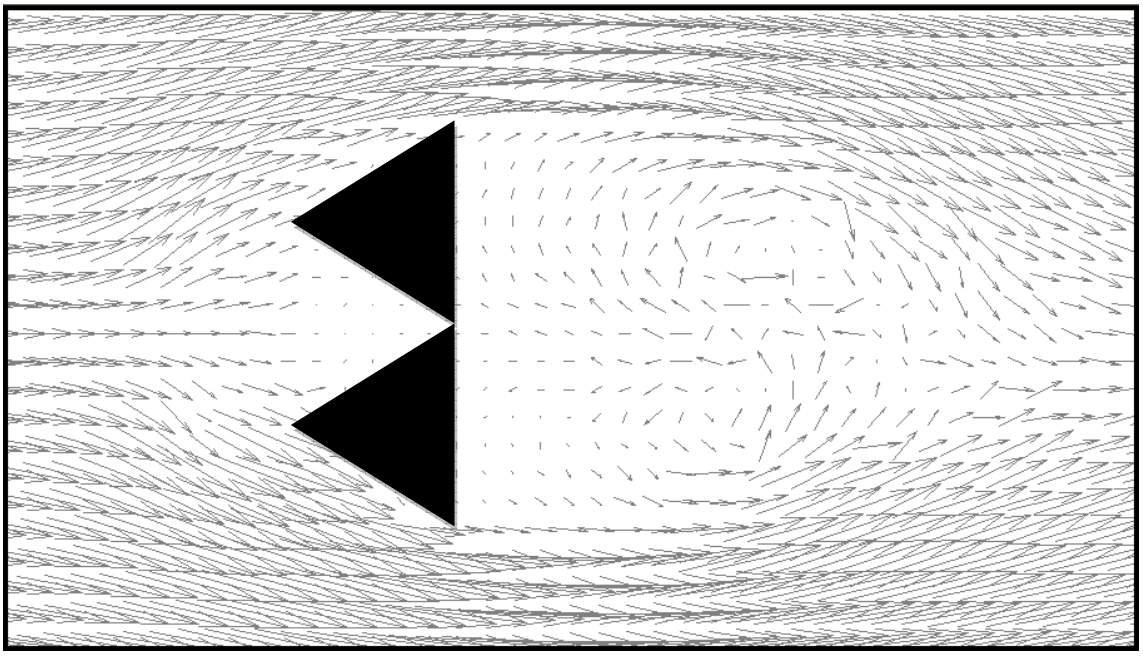


(b)

Şekil 5.63. B=20 mm W/B=1 durumu için Re=10.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

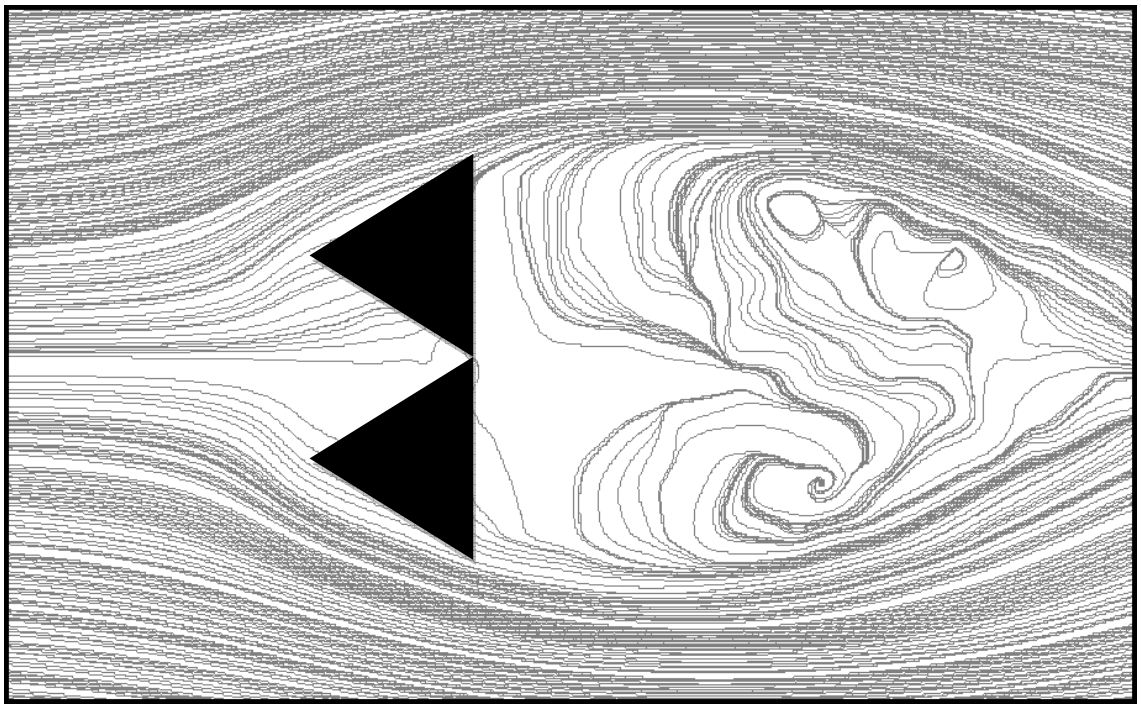


(a)

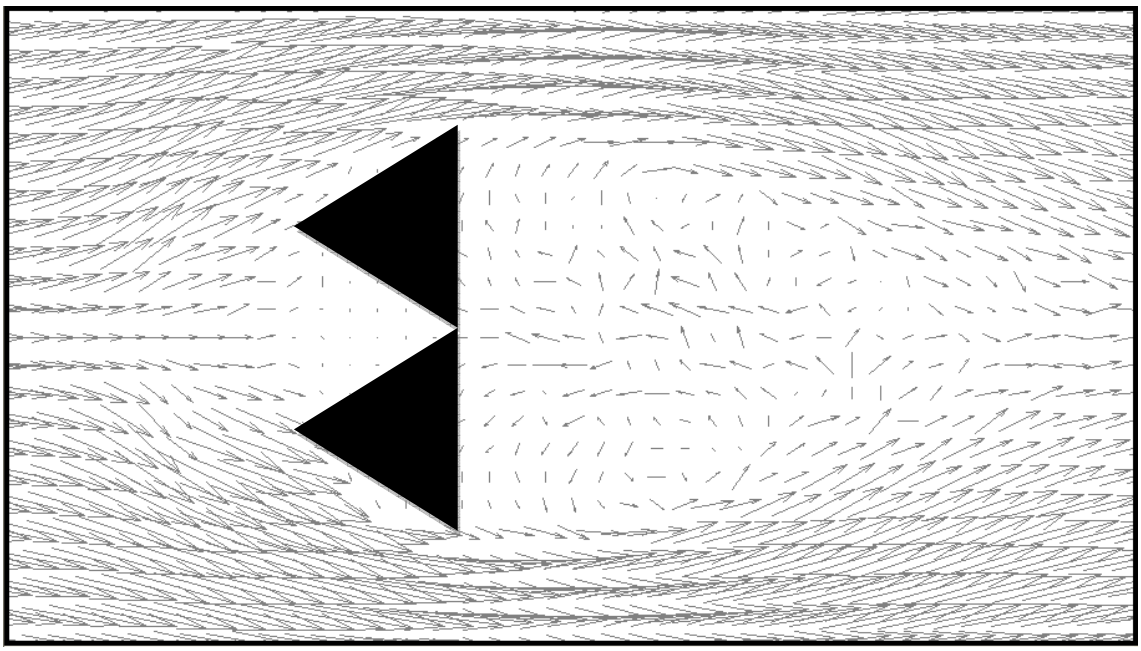


(b)

Şekil 5.64. B=25 mm W/B=0 durumu için Re=5.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

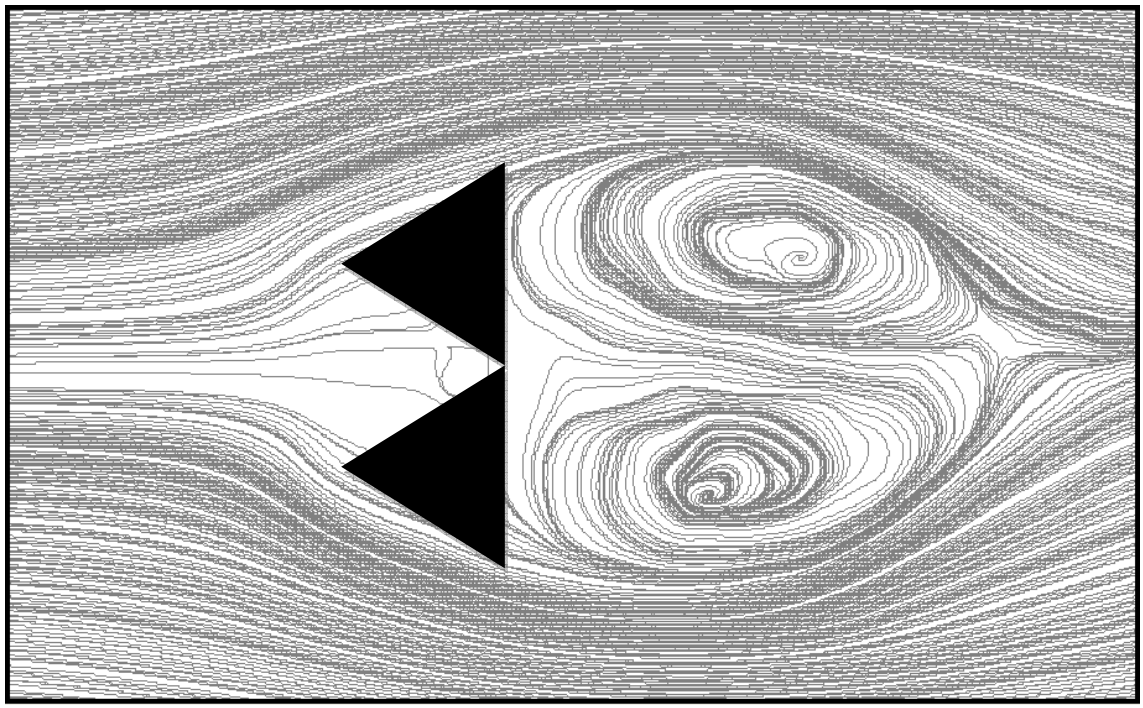


(a)

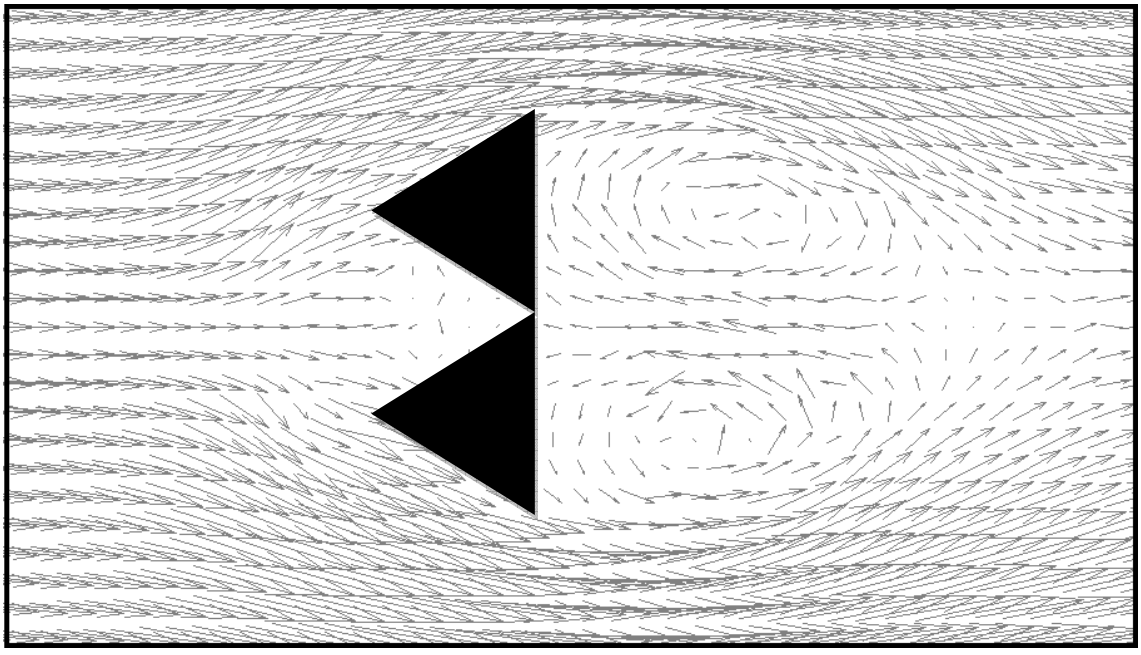


(b)

Şekil 5.65. B=25 mm W/B=0 durumu için Re=7.500'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

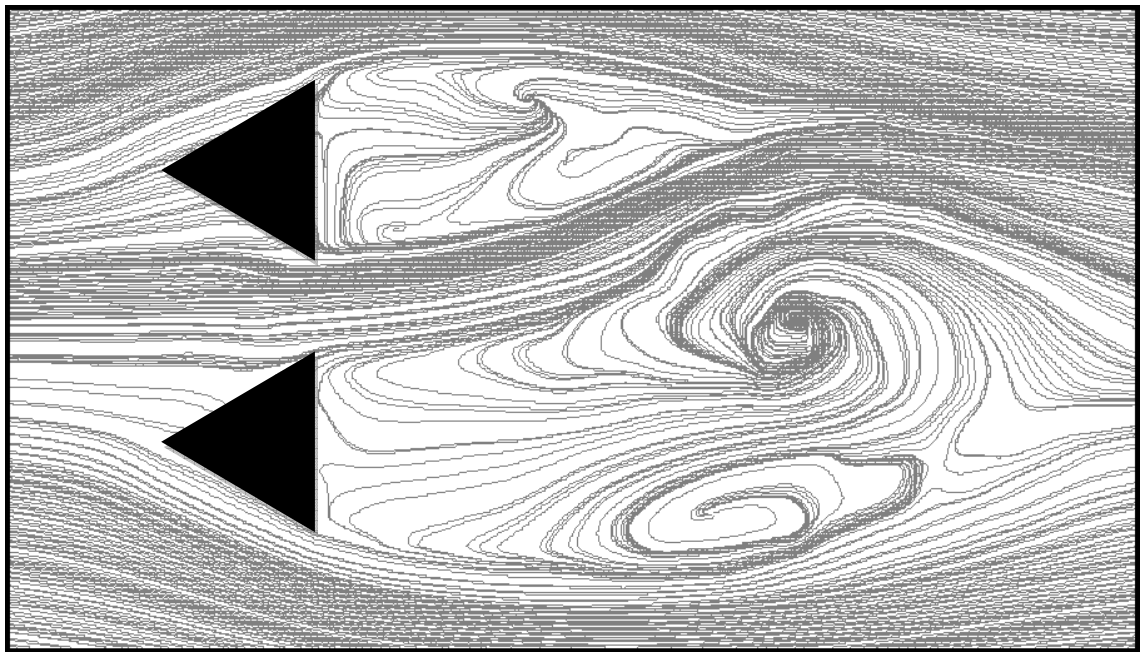


(a)

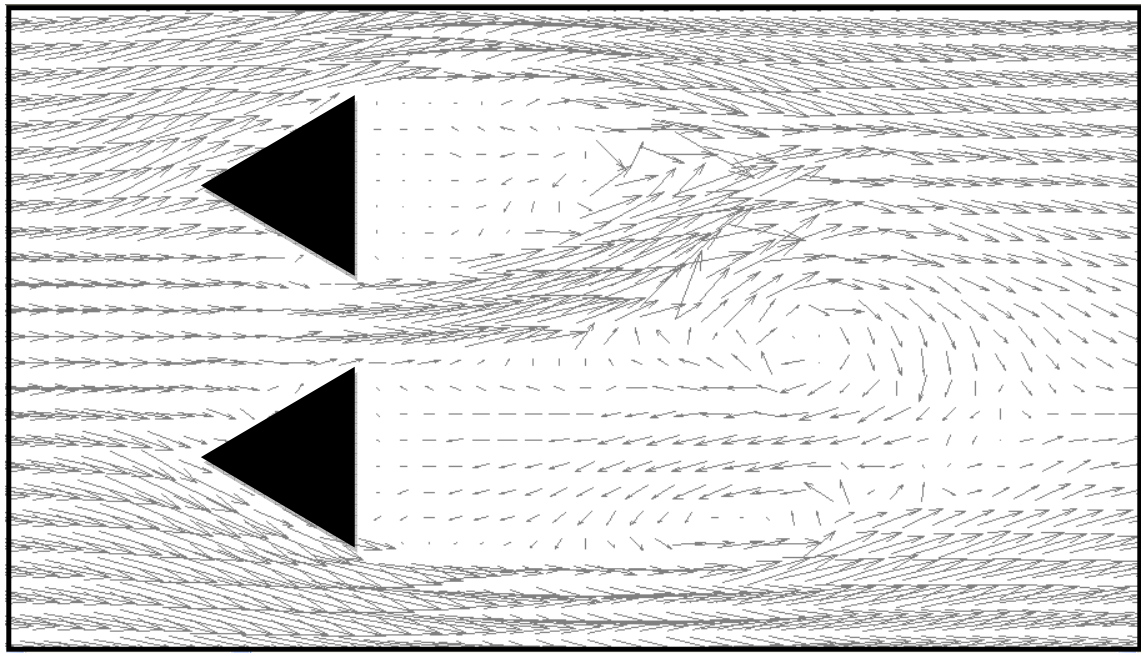


(b)

Şekil 5.66. B=25 mm W/B=0 durumu için Re=10.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

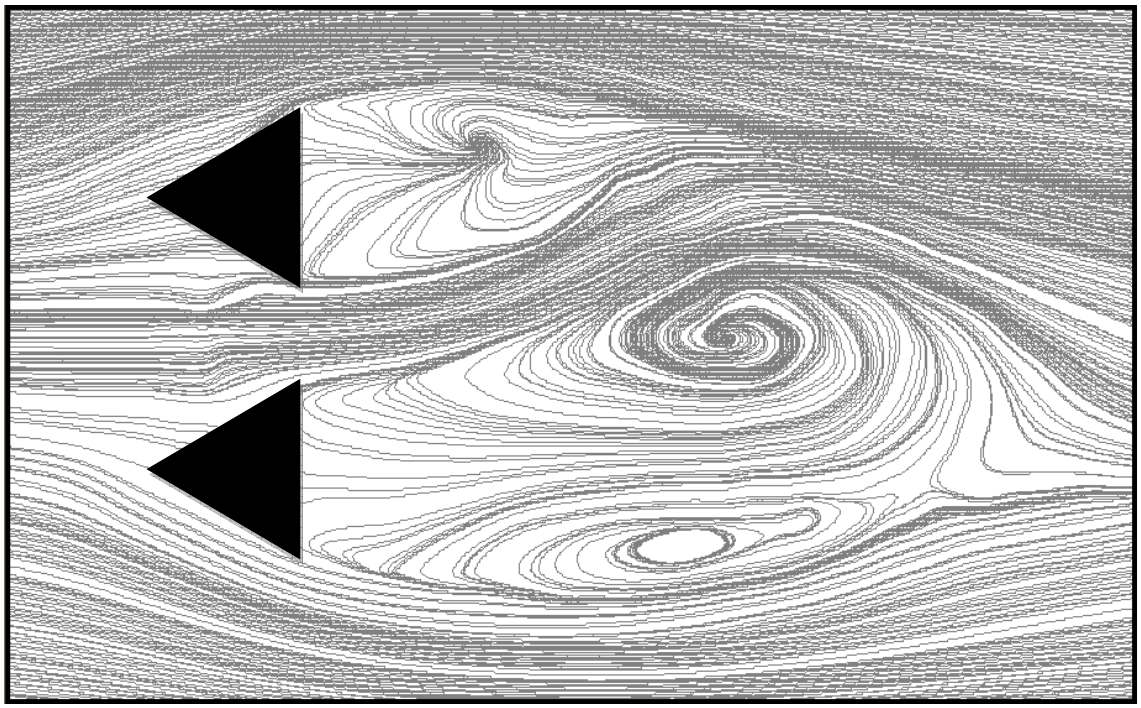


(a)

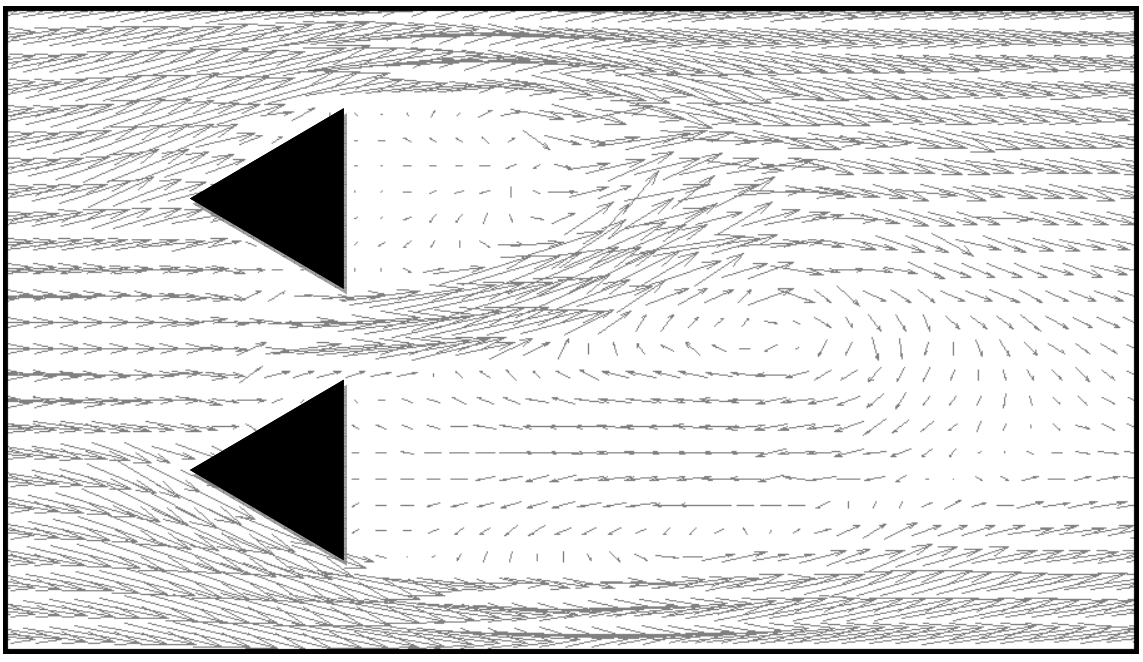


(b)

Şekil 5.67. B=25 mm W/B=0.5 durumu için Re=5.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

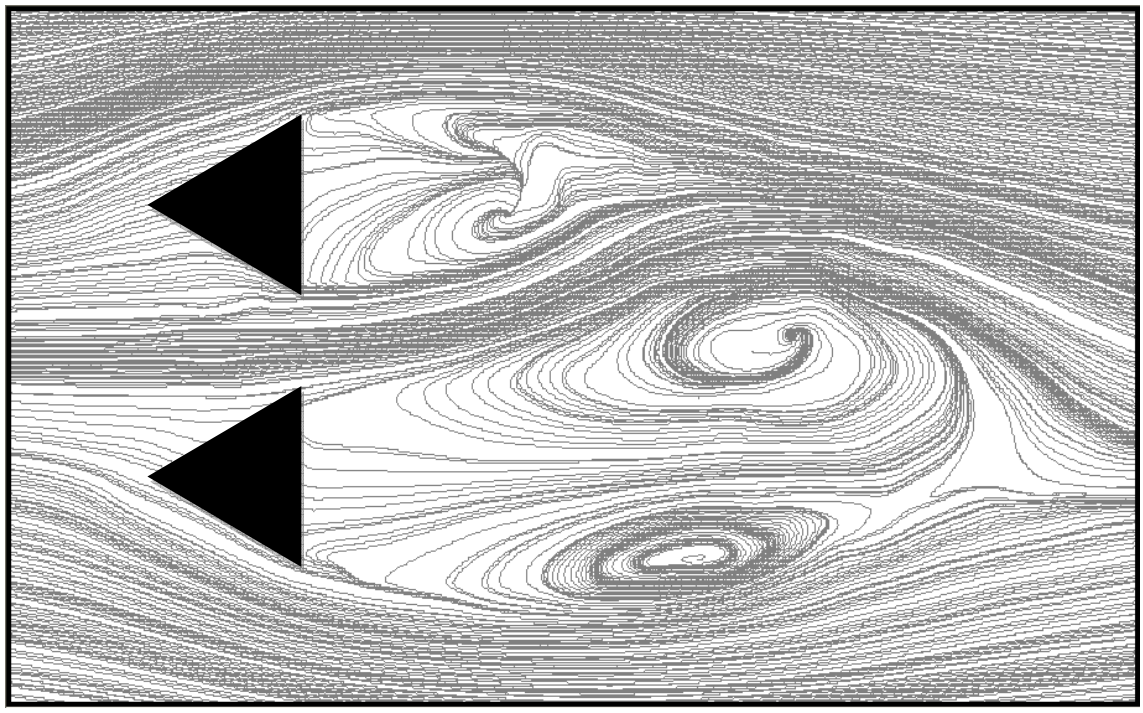


(a)

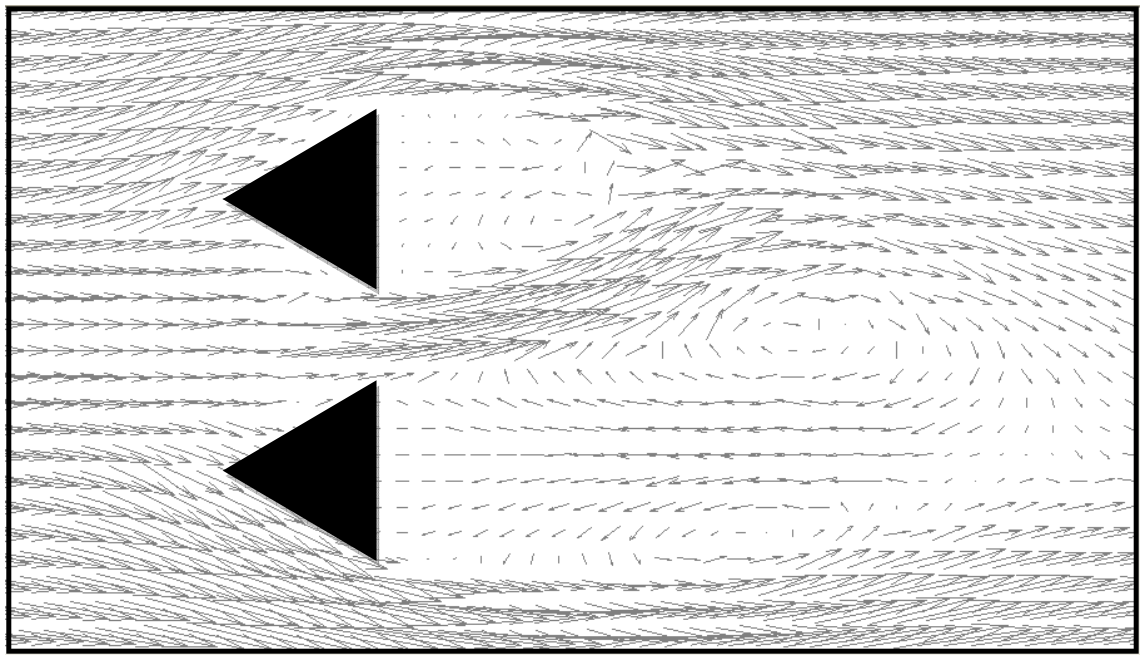


(b)

Şekil 5.68. B=25 mm W/B=0.5 durumu için Re=7.500'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

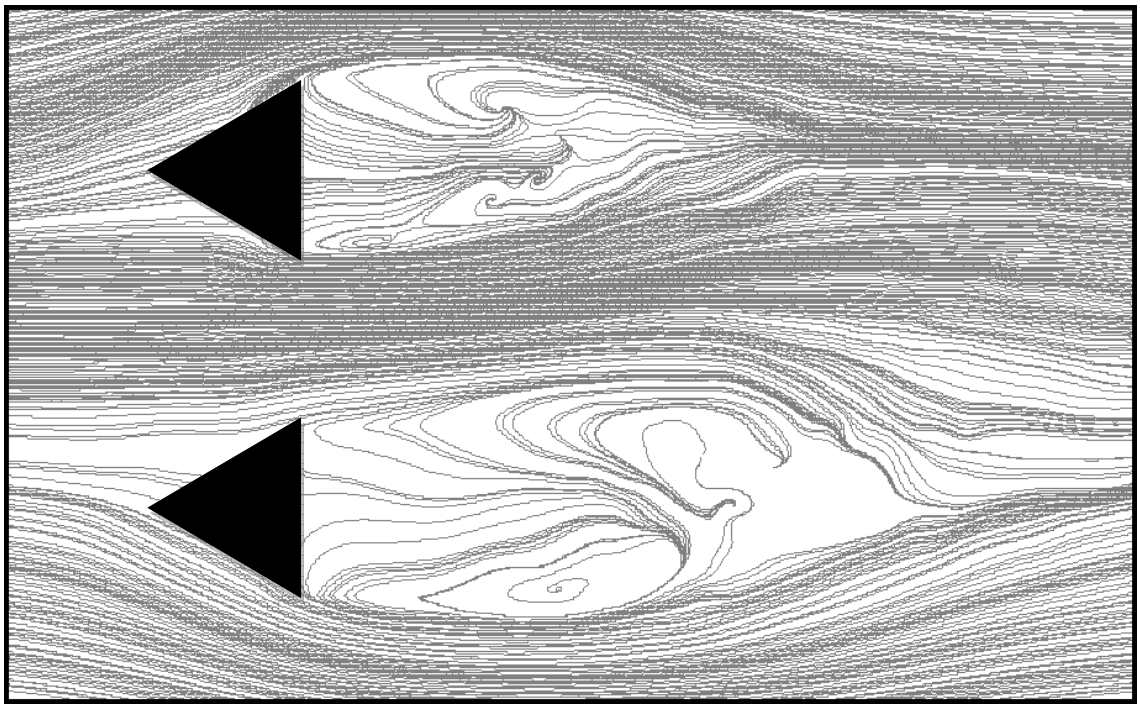


(a)

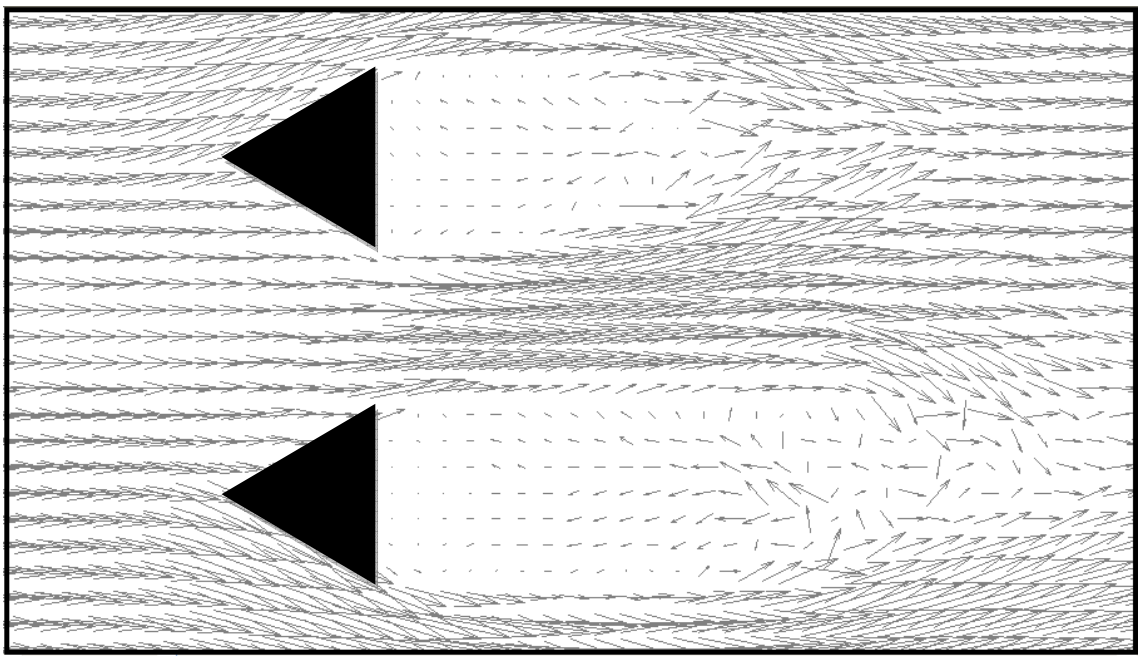


(b)

Şekil 5.69. B=25 mm W/B=0.5 durumu için Re=10.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

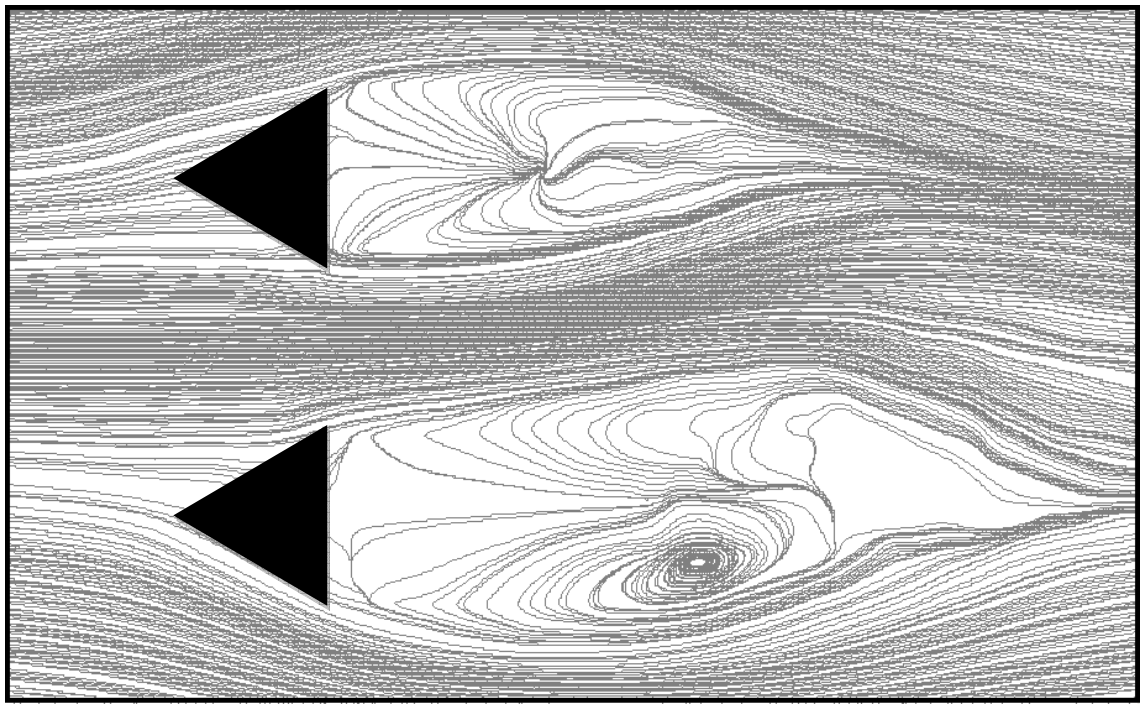


(a)

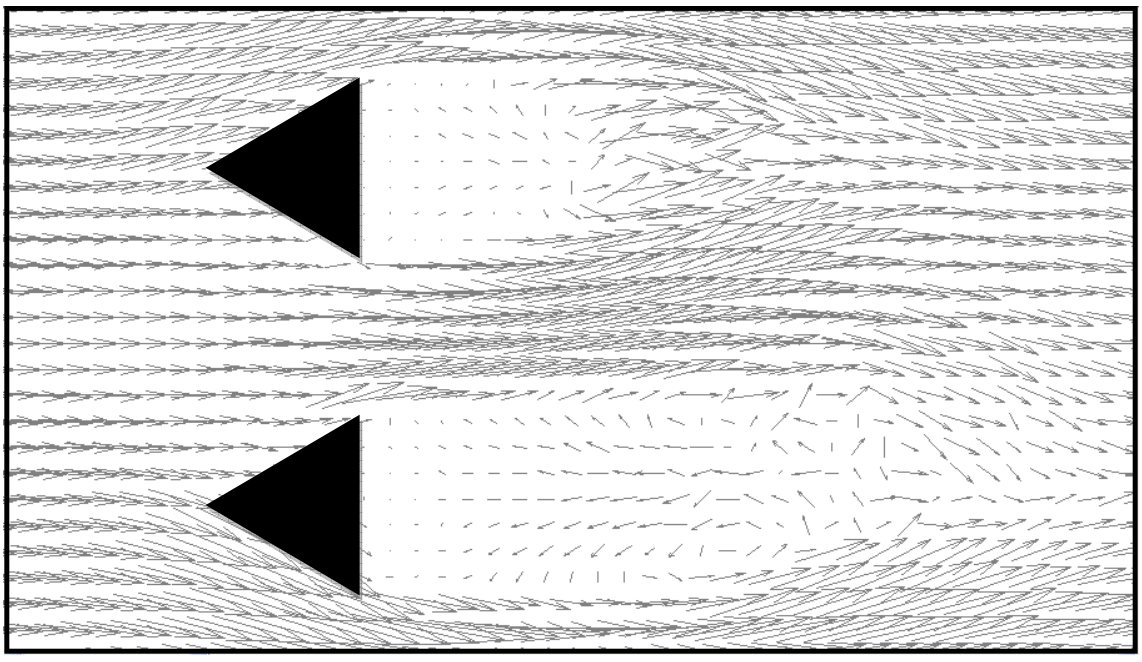


(b)

Şekil 5.70. B=25 mm W/B=1 durumu için Re=5.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

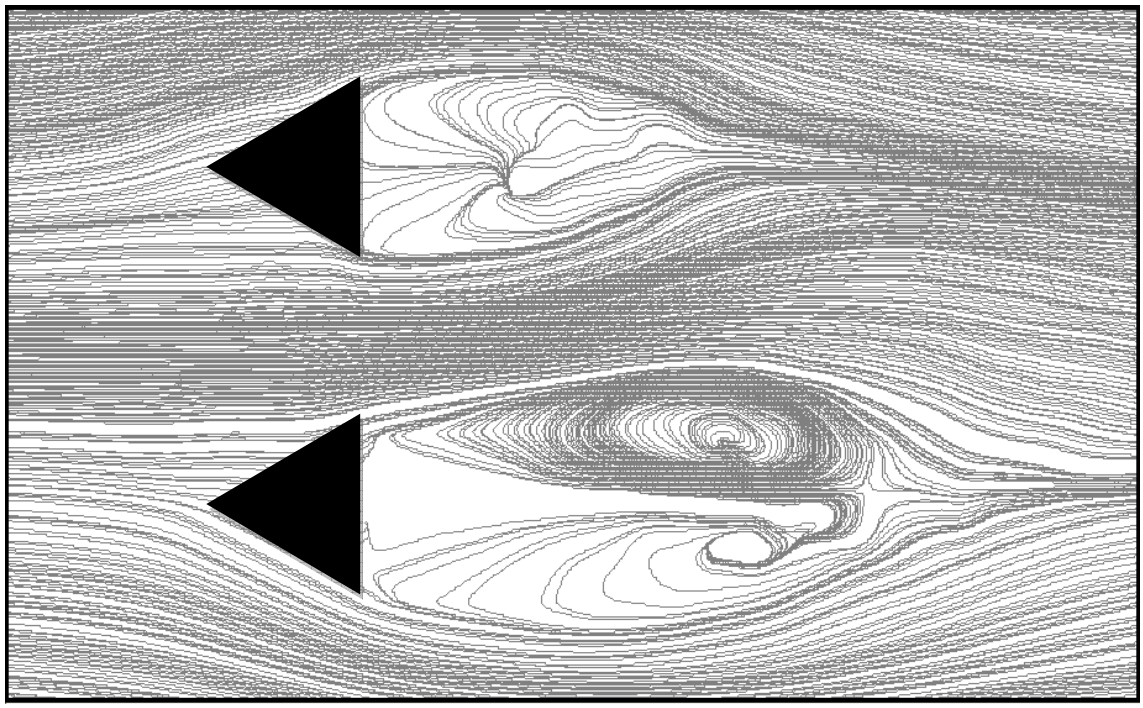


(a)

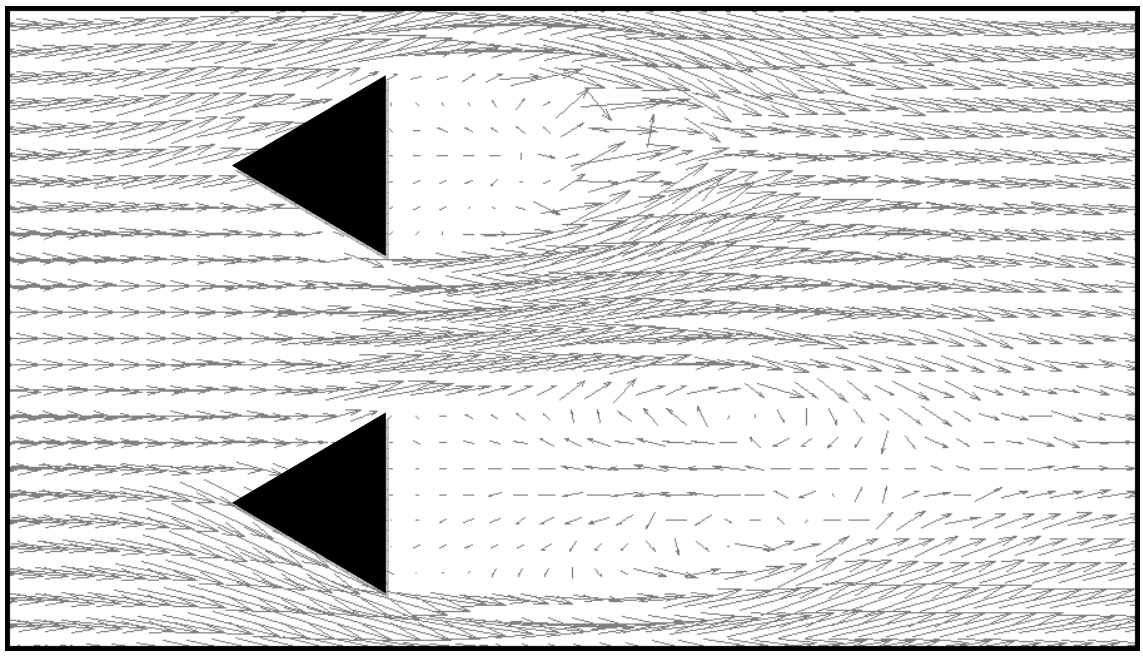


(b)

Şekil 5.71. B=25 mm W/B=1 durumu için Re=7.500'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.



(a)



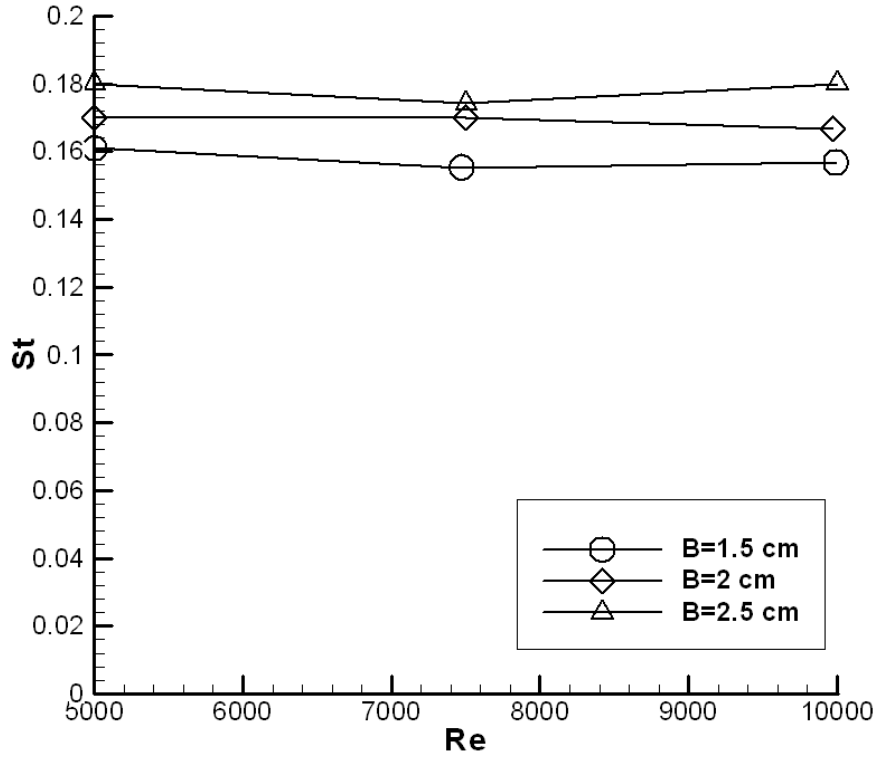
(b)

Şekil 5.72. B=25 mm W/B=1 durumu için Re=10.000'de üst üste üçgenlere ait (a) ortalama akım çizgileri, (b) ortalama hız vektörleri.

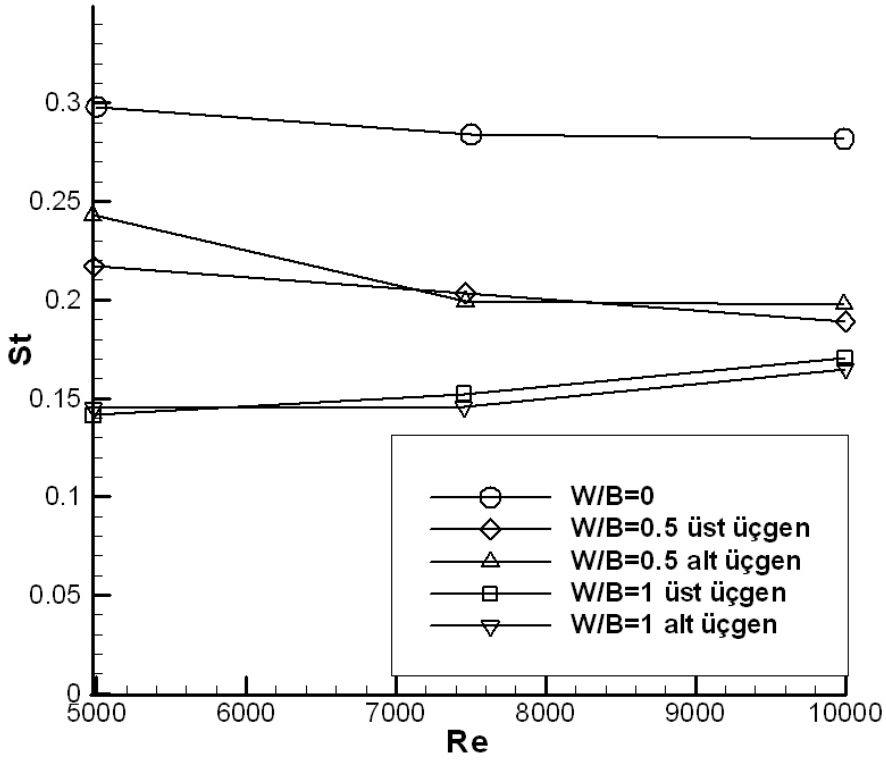
5.4. Strouhal Sayıları

Şekil 5.73-76'da girdap kopma frekanslarının Denklem 1.2'de yerine yazılması ile elde edilen Strouhal sayılarının Reynolds sayısıyla değişimleri sunulmuştur. Grafikler dikkatle incelendiğinde akış ortamına tek yerleştirilen her üç üçgen elemana ait Strouhal sayılarının neredeyse sabit olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise düzgün ve simetrik geometrili cisimler arkasında girdap alanlarının simetrik olmalarından kaynaklanmaktadır. Simetrik olması girdap kopmalarının baskın bir frekansta gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır. Benzer yaklaşımla sonucun W/B=0 durumunda aynı olması beklenir ki, grafikler incelendiğin de bu durumun geçerliliğini koruduğu anlaşılmakta B=15 mm, B=20 mm ve B=25 mm kenar uzunluğuna sahip üçgenlerin üst üste yerleştirildikleri düzenlemede Strouhal sayısı değerleri sabit kalmaktadır.

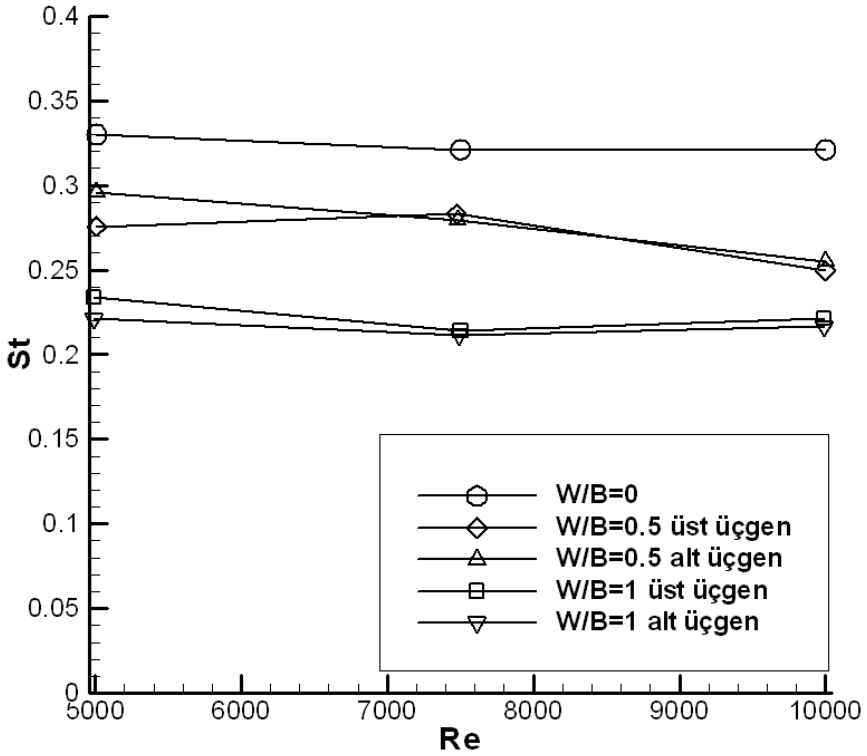
W/B=0.5 blokaj oranında arka bölgede asimetrik ve kararsız akış desenlerinden dolayı düzensiz girdap kopmaları olmakta alt ve üst üçgenlerin arka bölgelerinden alınan girdap kopma frekans değerleri birbirinden farklı olmakta, ayrıca değerleri sabit kalmamaktadır. W/B=1 blokaj oranında cisimler arasında daha az etkileşim sonucu oluşan nerdeyse simetrik ve dolayısıyla iki ayrı küt cisim davranışı bu blokaj oranlarında alt ve üst üçgen için hesaplanan Strouhal sayısı değerlerinin birbirlerine W/B=0.5 blokaj oranındakine göre daha yakın olmalarına neden olmaktadır. Ancak, bu blokaj oranında da Strouhal sayısı değerlerinin sabit olmaması ve Reynolds sayısı ile değişmesi düzensiz girdap kopmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.



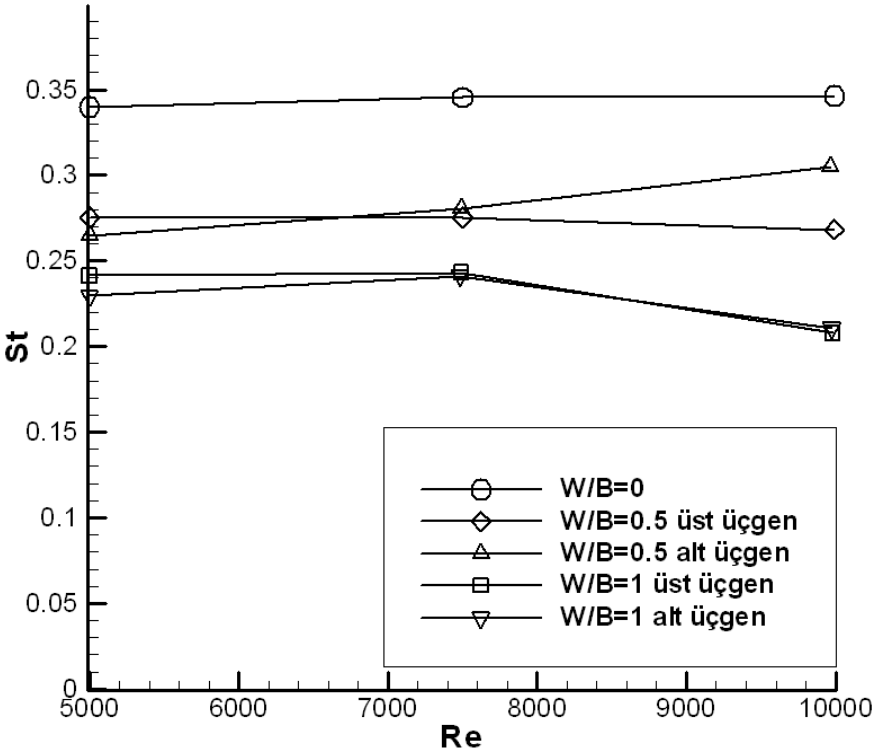
Şekil 5.73. Tek üçgenlere ait Strouhal sayısının Reynolds sayısıyla değişimi.



Şekil 5.74. B=15 mm üst üste üçgenlere ait Strouhal sayısının Reynolds sayısıyla değişimi.



Şekil 5.75. B=20 mm üst üste üçgenlere ait Strouhal sayısının Reynolds sayısıyla değişimi.



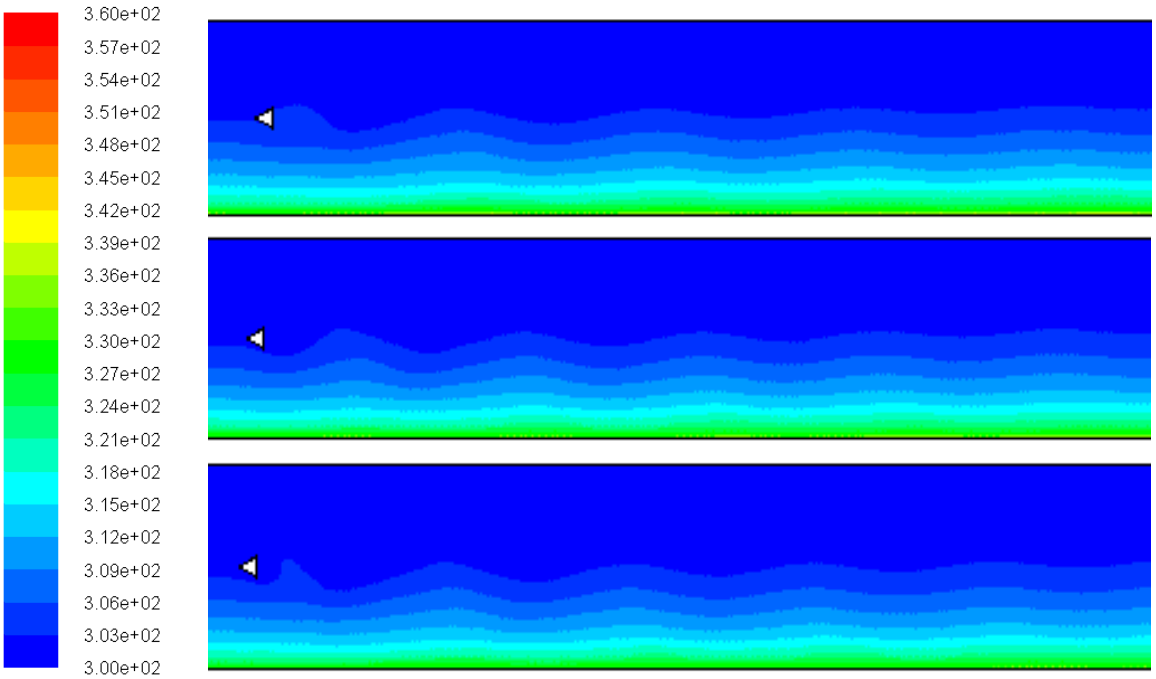
Şekil 5.76. B=25 mm üst üste üçgenlere ait Strouhal sayısının Reynolds sayısıyla değişimi.

5.5 Sıcaklık Kontürleri

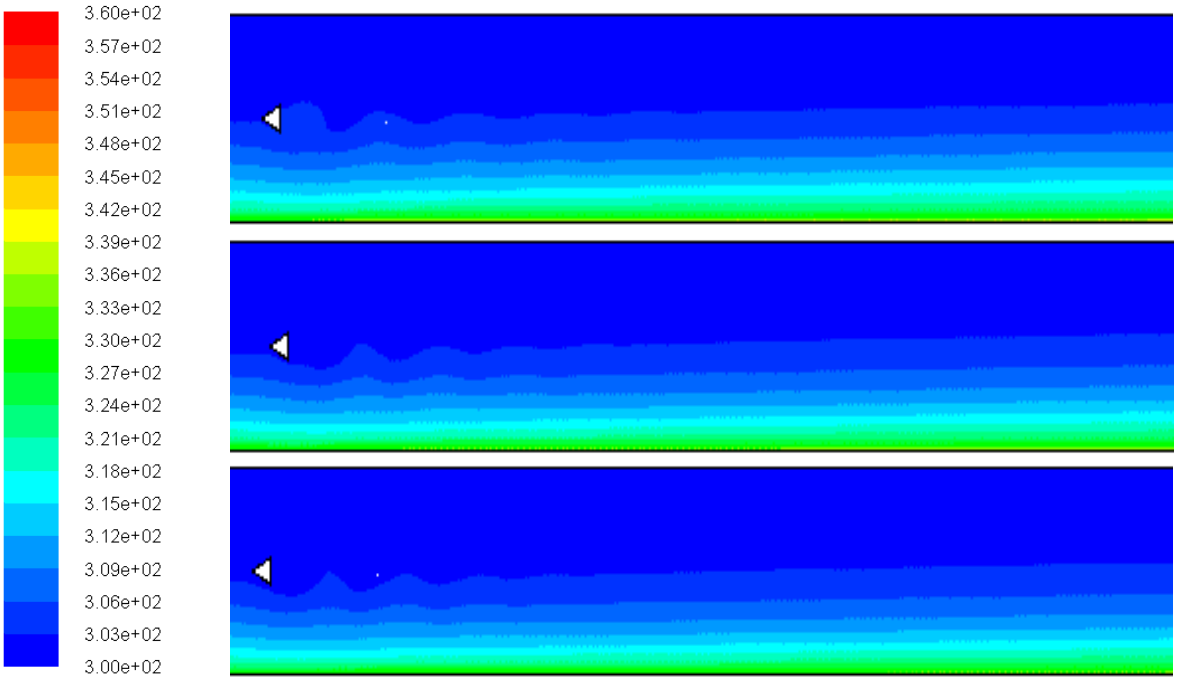
Şekil 5.77-5.88'de tek üçgen ve üst üste düzenlemeler için üstte Re=5.000, ortada Re=7.500 ve altta Re=10.000 için sıcaklık dağılımlarının kontürleri ve sol tarafta da sıcaklık kontürlerine ait lejantlar sunulmuştur. Kanal alt tabanı (T=360 K) ısıtılarak sabit yüzey sıcaklığı sınır şartı uygulamış, üst duvarın ise adyabatik olduğu kablu edilmiştir. Bu kabuller ışığında yapılan sayısal çözümler neticesinde elde edilen sıcaklık kontürlerinden anlaşılacağı gibi, tek üçgenlerde cisimlerin kanalın ekseni üzerinde tam ortada bulunmaları nedeniyle tek üçgen yerleşimi bu çalışmada alt duvara en uzakta bulunan düzenleme olmuştur. Uzaklığın dışında bütün konfigürasyonlarda artan Reynolds sayısıyla ısıl sınır tabaka kalınlığı azalmakta dolayısıyla ısı tranferi de artmaktadır.

Tek üçgen düzenlemesinde, en küçük kenar uzunluğunda (B=15 mm) alt cidara olan uzaklık en fazlayken en büyük üçgende (B=25 mm) en azdır. Cidara olan yakınlık uzaklık durumları alt sınır tabakanın daha fazla mı yoksa daha az mı rahatsız edileceğini belirler. Alt sınır tabakada meydana gelen bozulmalar ısı transferinin artışına pozitif etki yapmaktadır. B=25 mm için, alt ısıl sınır tabaka katmanları daha darlaşmakta, bu durum 5.6'da açıklandığı gibi ısı transferinde artışa neden olmaktadır.

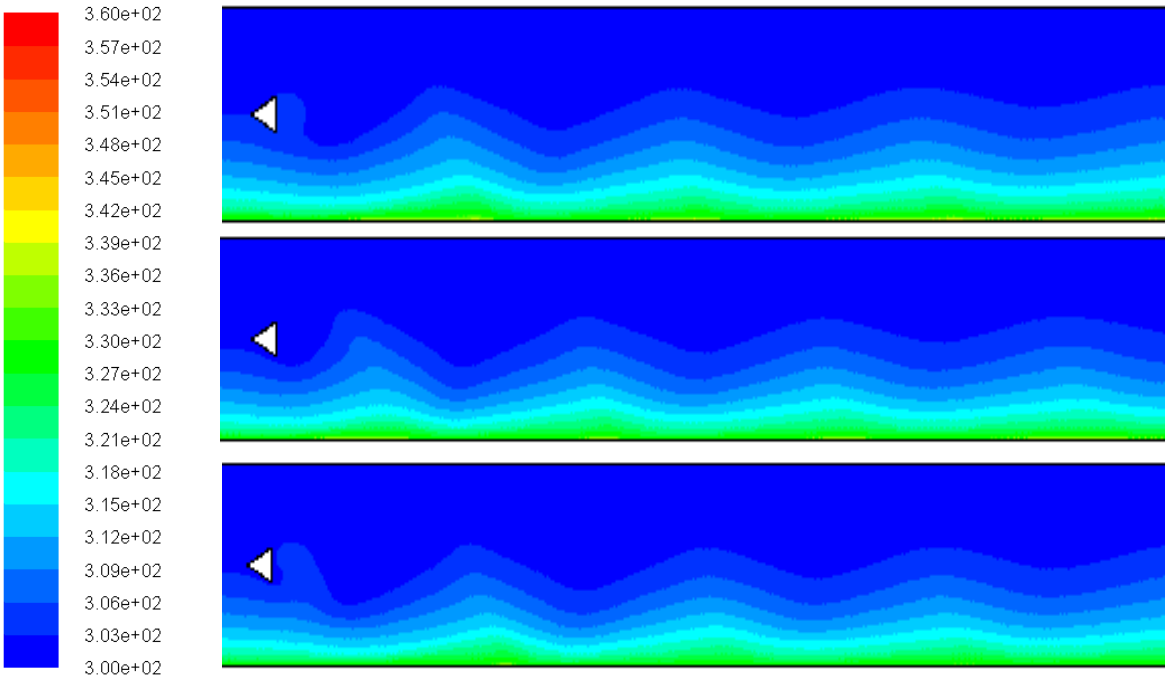
Üçgenlerin üst süte yerleştirilmeleri durumunda kanalın alt duvarına daha da yakınlaşan üçgen küt cisimlerden dolayı sınır tabak daha fazla rahatsız edilmekte, düzenlemedeki bu değişim ısıl sınır tabakaların dalgalı bir hal almalarına yol açmıştır. Üst üste düzenleme durumunda ısıl sınır tabakların kalınlıklarının en az olduğu durum kenar uzunlukları açısından B=25 mm'de gerçekleşmiştir. Reynolds sayısı açısından ise Re=10.000 olduğu durumda gerçekleştiği görülmüştür.



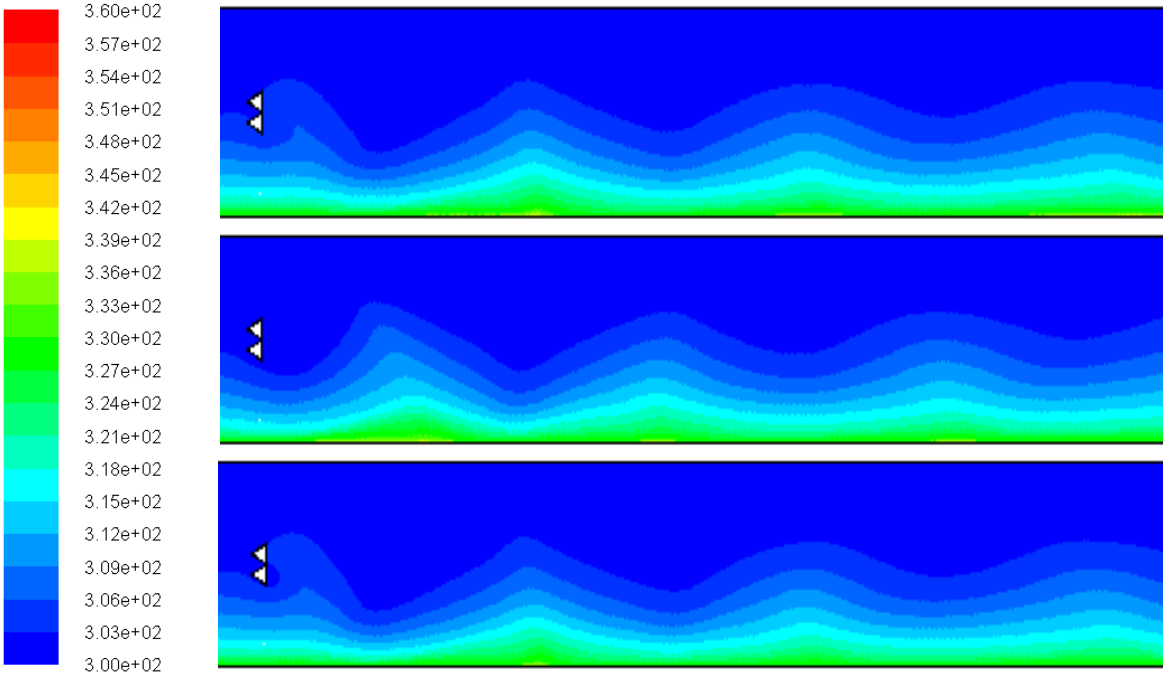
Şekil 5.77. B=15 mm tek üçgene ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta).



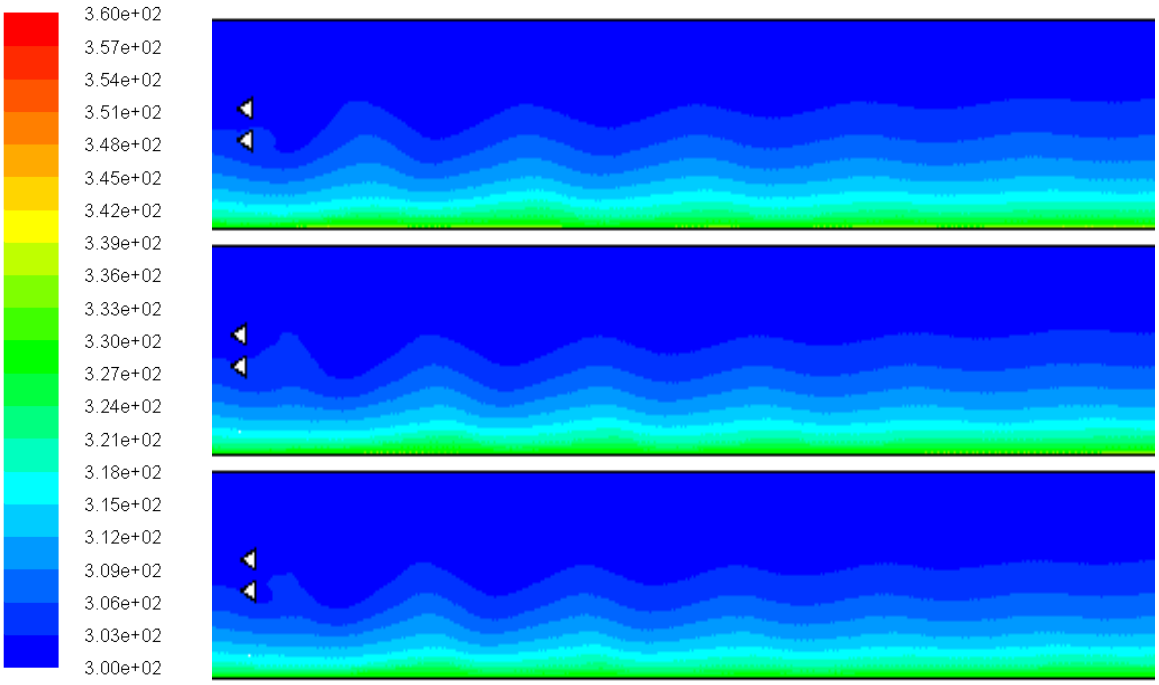
Şekil 5.78. B=20 mm tek üçgene ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta).



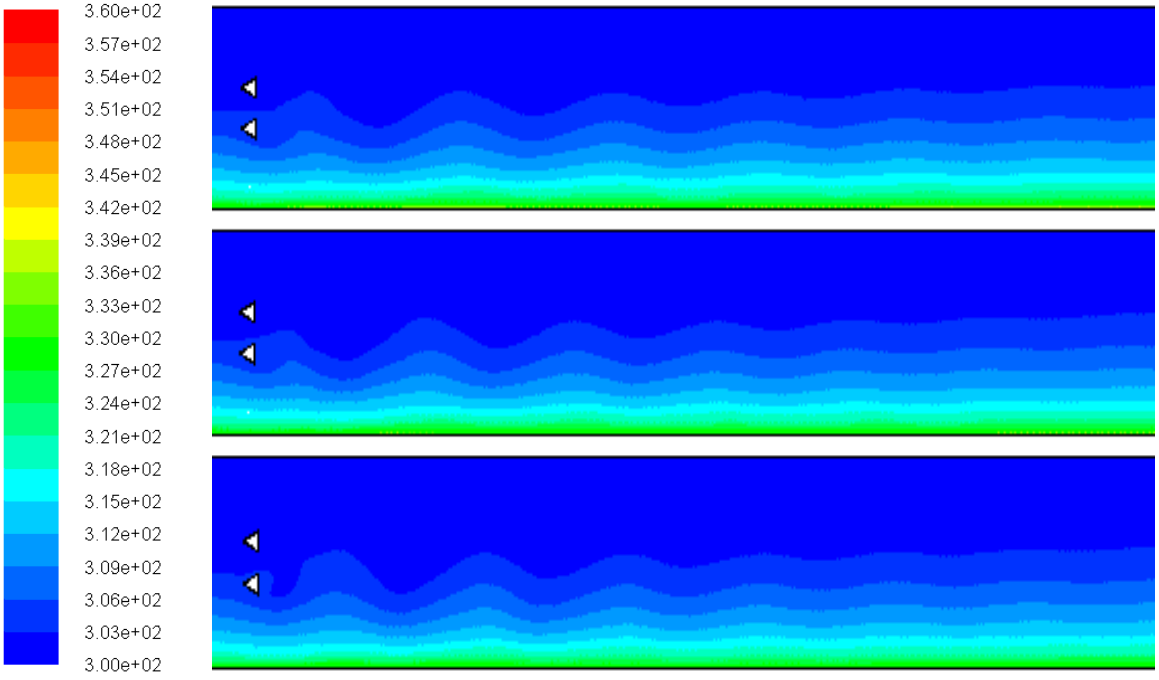
Şekil 5.79. B=25 mm tek üçgene ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta).



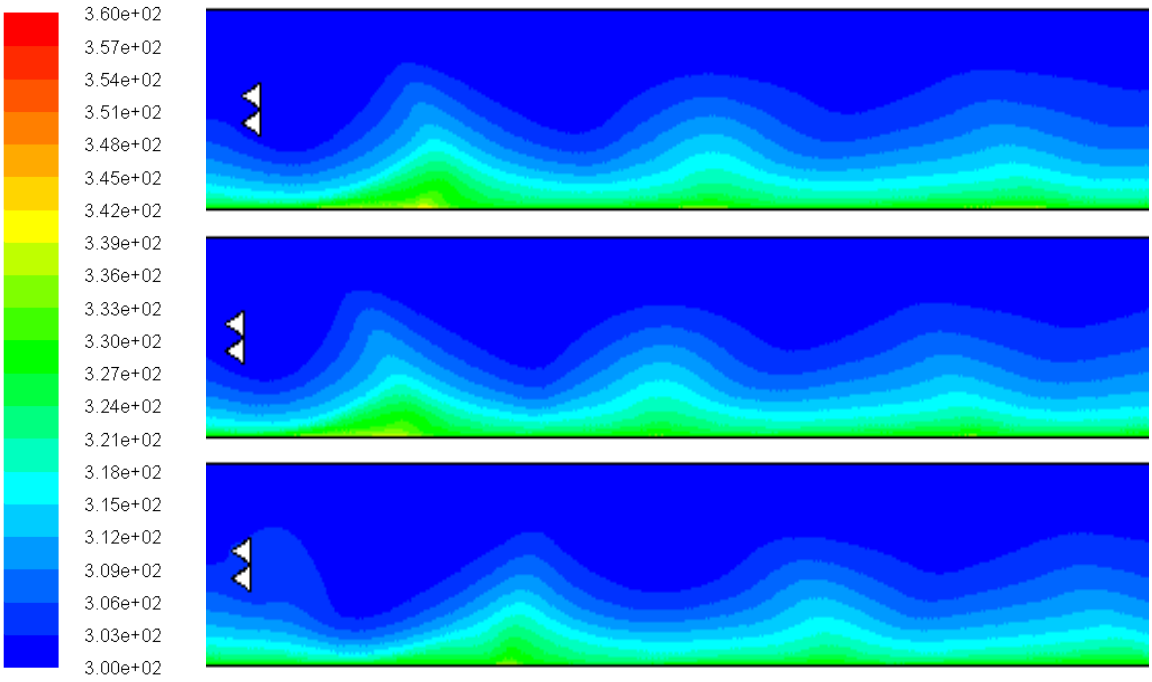
Şekil 5.80. B=15 mm W/B=0 durumu için üst üste üçgenlere ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta).



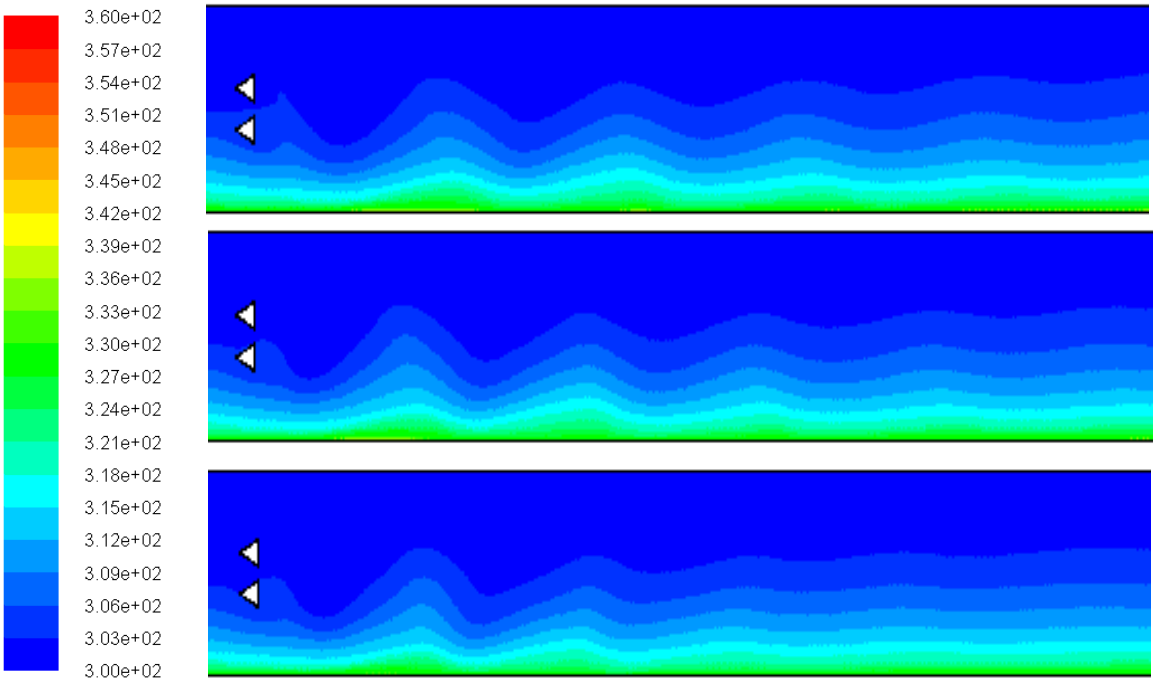
Şekil 5.81. B=15 mm W/B=0.5 durumu için üst üste üçgenlere ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta).



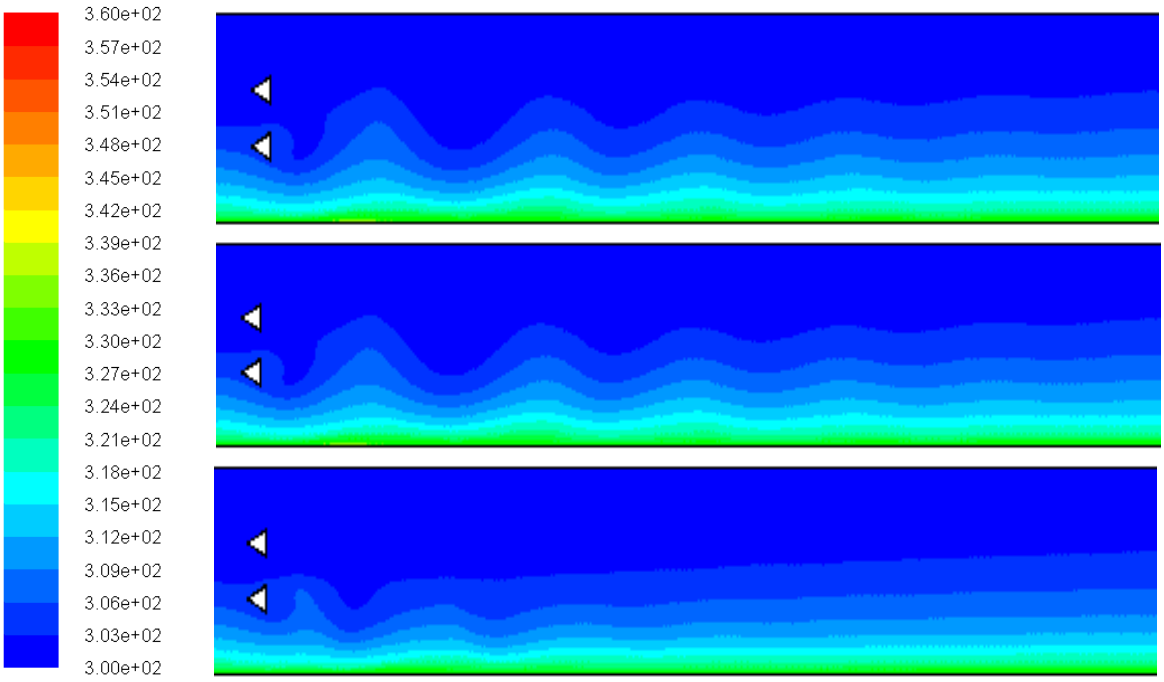
Şekil 5.82. B=15 mm W/B=1 durumu için üst üste üçgenlere ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta).



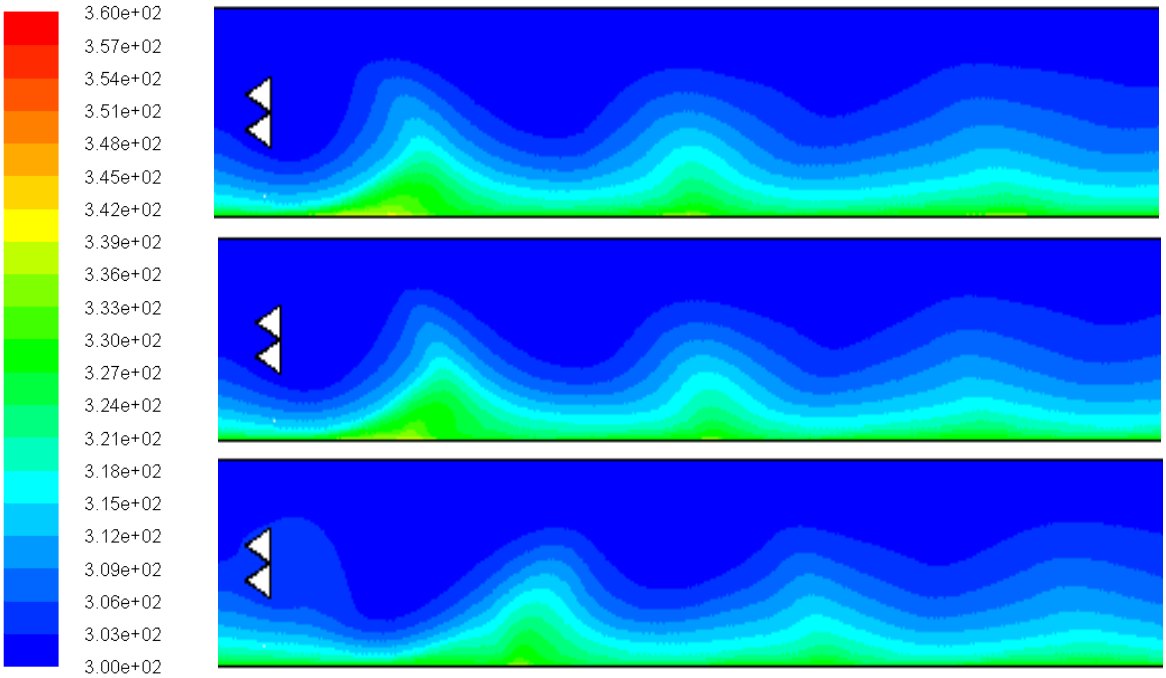
Şekil 5.83. B=20 mm W/B=0 durumu için üst üste üçgenlere ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta).



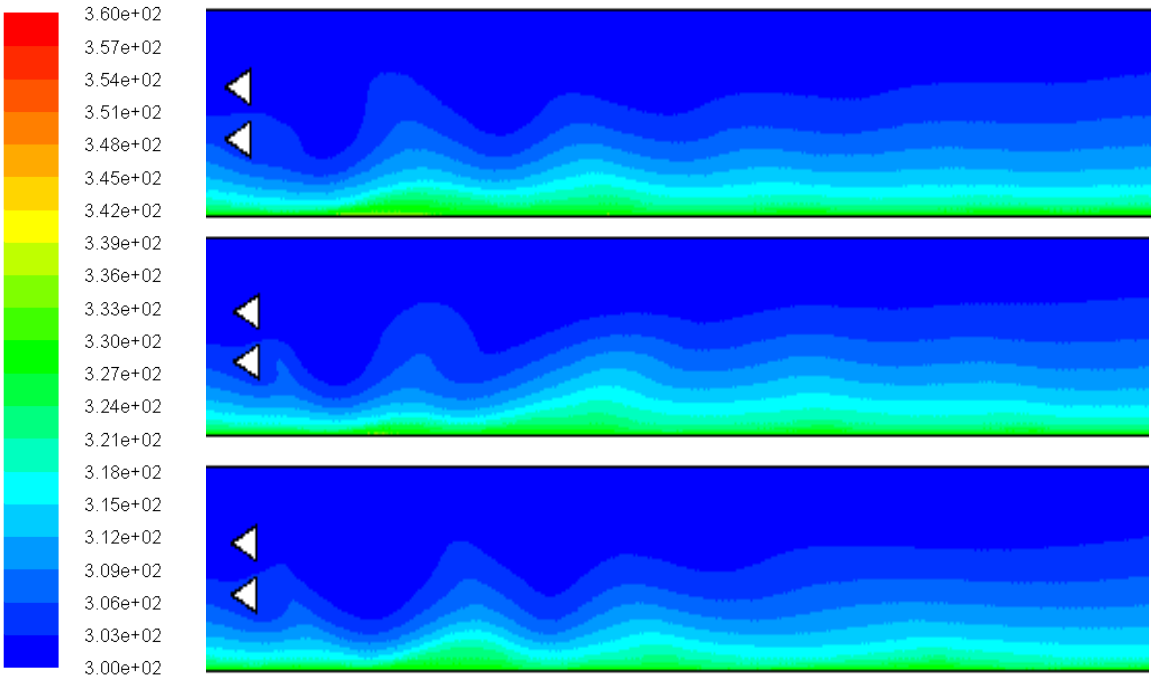
Şekil 5.84. B=20 mm W/B=0.5 durumu için üst üste üçgenlere ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta).



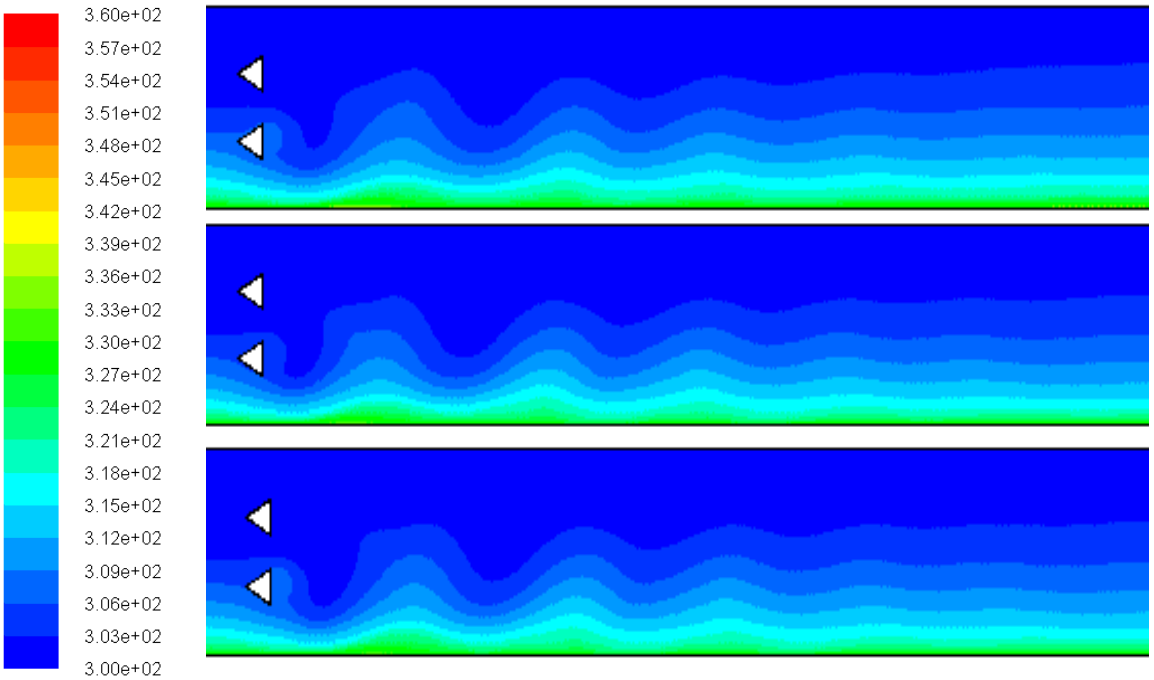
Şekil 5.85. B=20 mm W/B=1 durumu için üst üste üçgenlere ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta).



Şekil 5.86. B=25 mm W/B=0 durumu için üst üste üçgenlere ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta).



Şekil 5.87. B=25 mm W/B=0.5 durumu için üst üste üçgenlere ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta).



Şekil 5.88. B=25 mm W/B=0.5 durumu için üst üste üçgenlere ait sıcaklık kontürleri, Re=5.000 (üstte), Re=7.500 (ortada), Re=10.000 (altta).

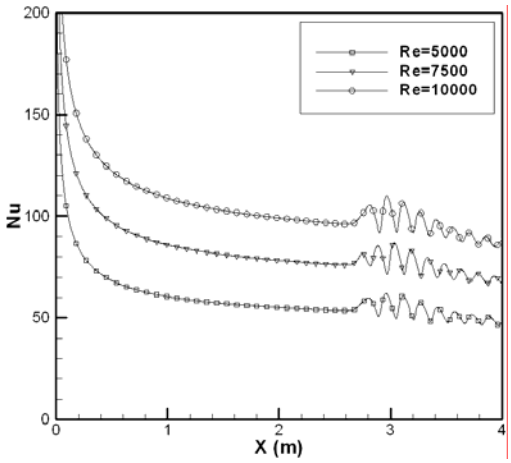
5.6. Isı Transferi ve Yüzey Sürtünme Katsayılarının Kanal Boyunca Değişimi

Kanal alt duvarı boyunca yerel Nusselt sayısı değişimleri Şekil 5.89-5.92'de verilmiştir. Kısım 5.6'da açıklandığı gibi Nusselt sayısı doğrudan ısı transferini temsil etmesinden dolayı kanal içerisine yerleştirilen üçgen küt cisimlerin yerleşim düzenleri ve Reynolds sayısının büyüklüğü Nusselt sayısı açısından önemli parametrelerdir. Bütün düzenlemelerde akışkan cisimle karşılaştığında ve cisimleri geçtiğinde Nusselt sayı artmaktadır. Küt cisimlerle ilk karşılaşma konumunda grafiklerden de anlaşılacağı üzere Nusselt sayısı pik yapmaktadır. Ancak, Nusselt sayısı akış yapısının dolayısıyla sınır tabakanın rahatsız edilmesiyle hemen düşmemekte dalgalanarak değeri düşmektedir.

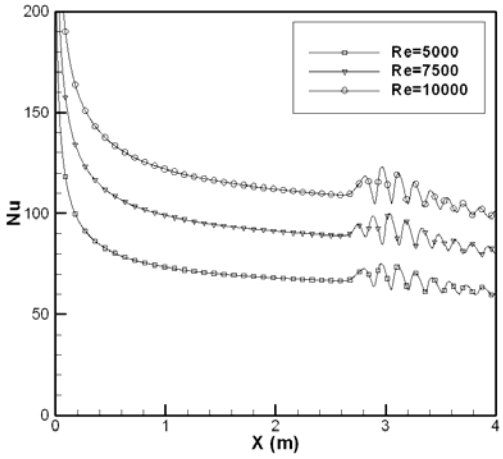
Şekil 5.89'da görüldüğü gibi B=15 mm durumunda ısıl sınır tabakanın fazla rahatsız edilememesinden dolayı Nusselt sayısı çok fazla artmamakta, ancak kenar uzunluğu 25 mm olan üçgende açıklanan sebepten dolayı B=15 ve 20 mm durumlarına göre daha fazla artmaktadır. Ancak aynı kenar uzunluğunda fakat üst üste yerleştirilmeleri durumunda Nusselt sayısı daha fazla artmıştır. Örneğin, B=15 mm kenar uzunluklu üçgenin tek yerleştirilmesi ile Nusselt sayısı 115 değerinden sonra azalmaya başlamışken üst üste yerleştirildiği ve boşluk oranının sıfır (W/B=0) olduğu durumda 150 den itibaren düşmeye başlamıştır.

Kanal alt cidarından olan uzaklık ve Reynolds sayısı kadar ısı transferi ve sürtünmeyi etkileyen diğer önemli bir faktör de blokaj oranıdır. Üst üste düzenlemenin olduğu bütün durumlarda grafikler blokaj oranları baz alınarak irdelenirse, cisimler arasında boşluk olmadığı durumda daha fazla ısı transferinin sağlandığı kolaylıkla görülebilir. W/B=0.5 olması halinde hiç boşluk olmadığı duruma göre daha az artmış boşluğun daha da artmasıyla (W/B=1) Nusselt sayındaki artış miktarı azalmıştır. Kenar uzunluğu açısından en yüksek Nusselt sayısı B=25 mm de, yerleşim şekli açısından üst üste düzenlemede, blokaj oranı bakımından W/B=0 da ve Reynolds sayısı açısından Re=10.000 durumunda elde edilmiştir.

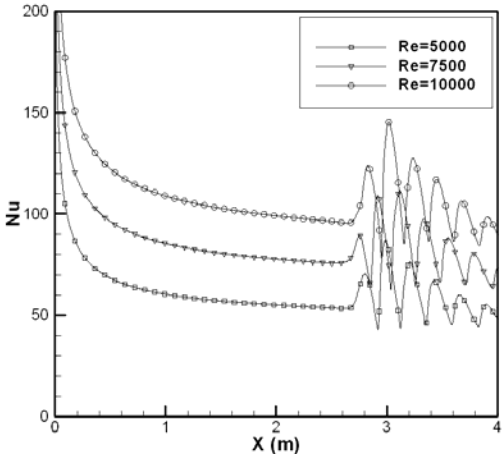
Kanal içerisine üçgen elemanlar ekleyerek dışarıdan ilave enerji vermeksizin ısı transferi artışının incelenmesi temel anlamda pasif yöntemlerle ısı transferi arttırma işlemidir. Pasif yöntemlerle ısı transferi artırılırken istenmeyen bir durum sürtünmen artması yani pompa basma yükünün artmasıdır. Şekil 5.93-5.96'da iç elemanlar eklenmesi halinde kanal alt duvarı boyunca yüzey sürtünme katsayısındaki değişim sunulmuştur. Temelde alt yüzeyde ısı transferi artışına ve birlikte sürtünmelerdeki artışa da neden olan şey akışkanın moleküler düzeydeki davranışıdır. Aynı temele dayandıklarından dolayı alt cidar boyunca sürtünme katsayısı değişim trendi Nusselt sayısıyla benzerdir.



(a)

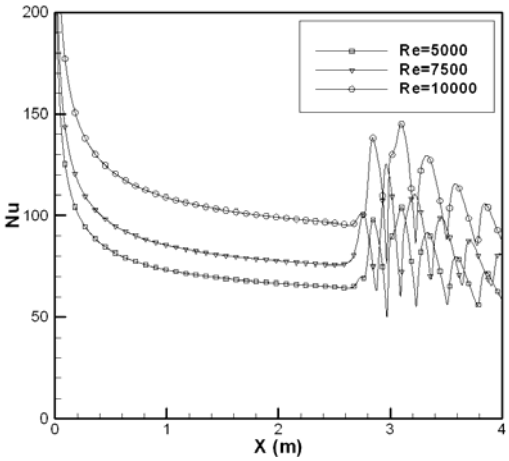


(b)

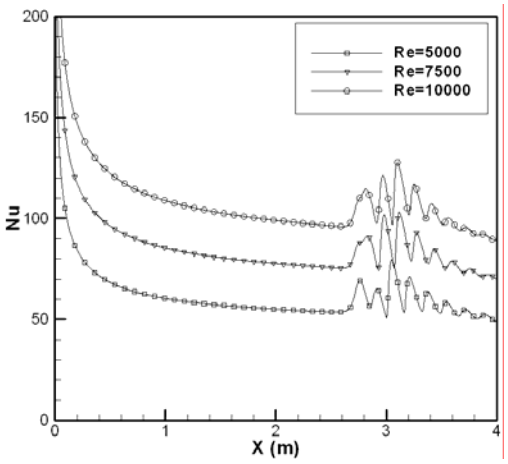


(c)

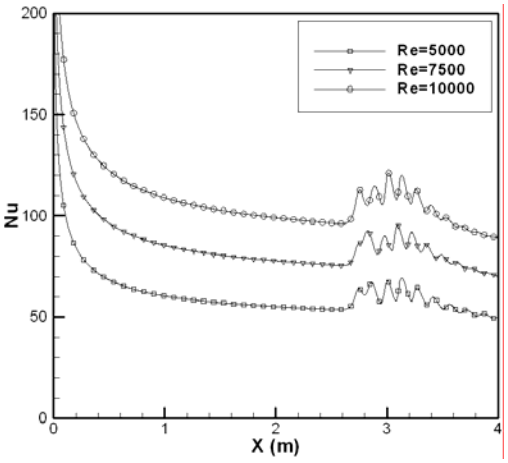
Şekil 5.89. Tek üçgenler için kanal alt duvarı boyunca Nusselt sayısı değişimleri, (a) B=15 mm, (b) B=20 mm, (c) B=25 mm.



(a)

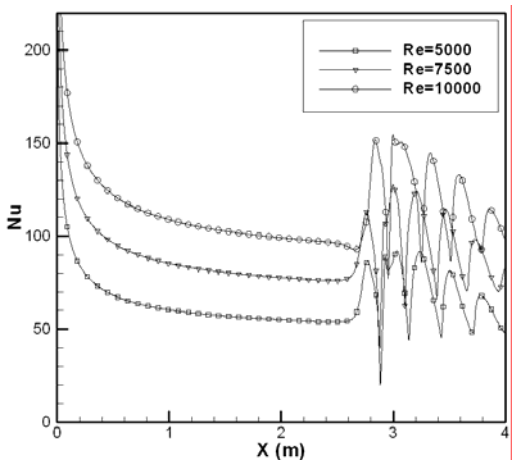


(b)

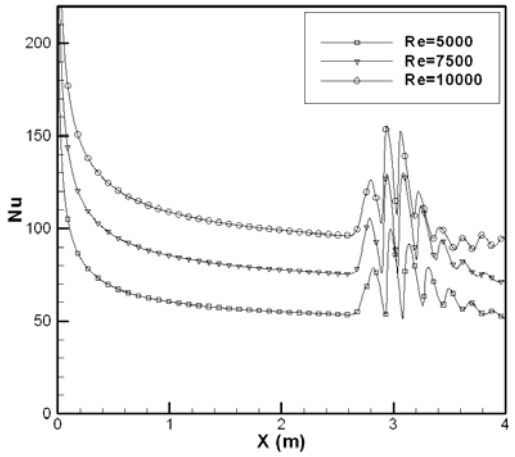


(c)

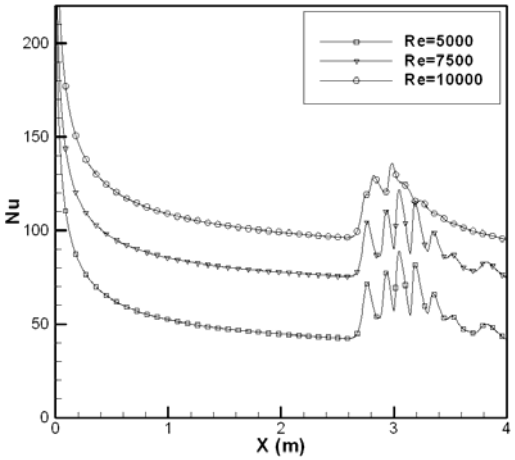
Şekil 5.90. B=15 mm durumunda üst üste üçgenler için kanal alt duvarı boyunca Nusselt sayısı değişimleri, (a) W/B=0, (b) W/B=0.5, (c) W/B=1.



(a)

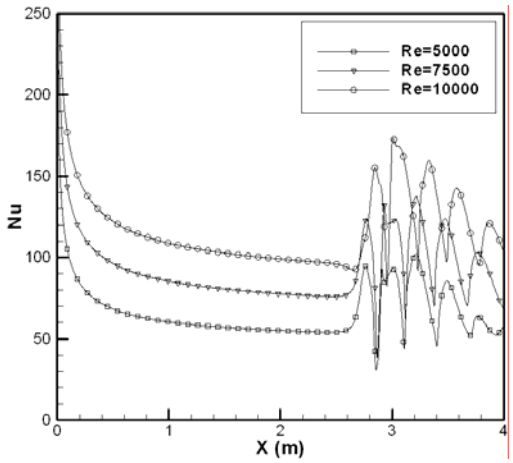


(b)

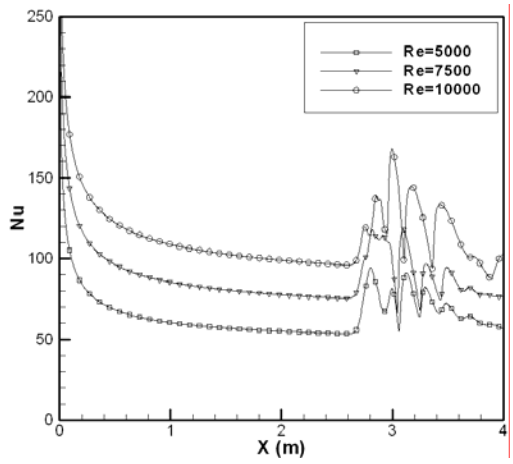


(c)

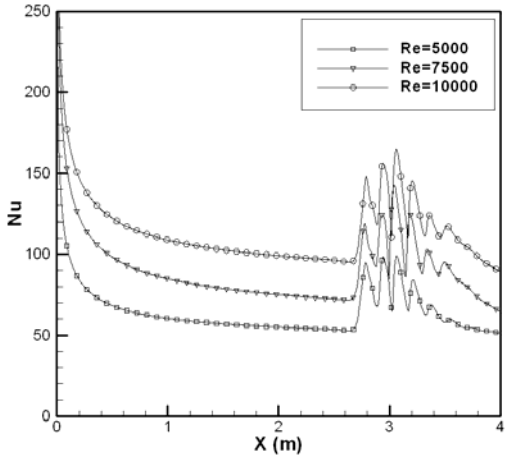
Şekil 5.91. B=20 mm durumunda üst üste üçgenler için kanal alt duvarı boyunca Nusselt sayısı değişimleri, (a) W/B=0, (b) W/B=0.5, (c) W/B=1.



(a)

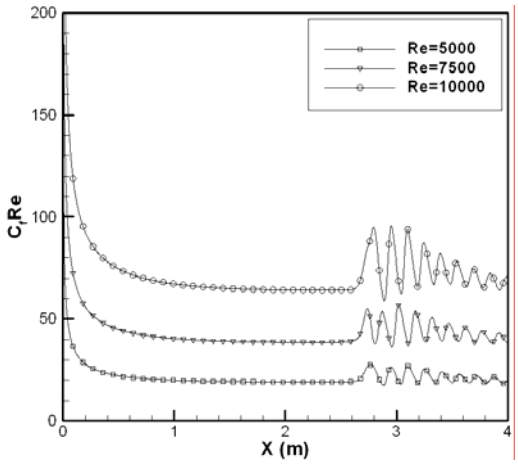


(b)

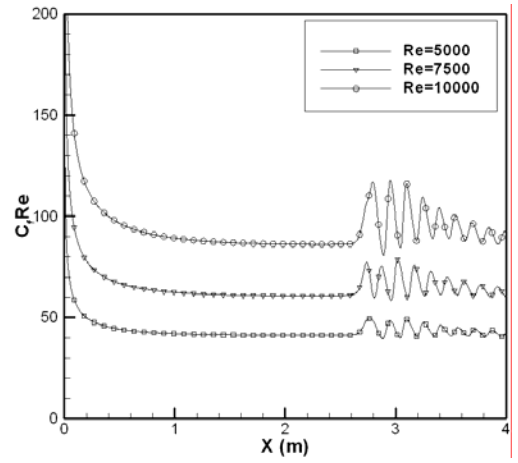


(c)

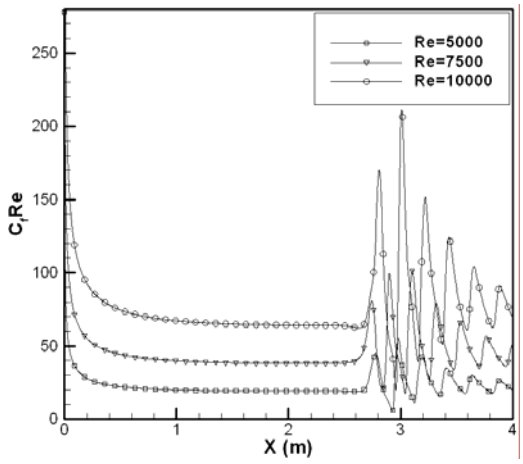
Şekil 5.92. B=25 mm durumunda üst üste üçgenler için kanal alt duvarı boyunca Nusselt sayısı değişimleri, (a) W/B=0, (b) W/B=0.5, (c) W/B=1.



(a)

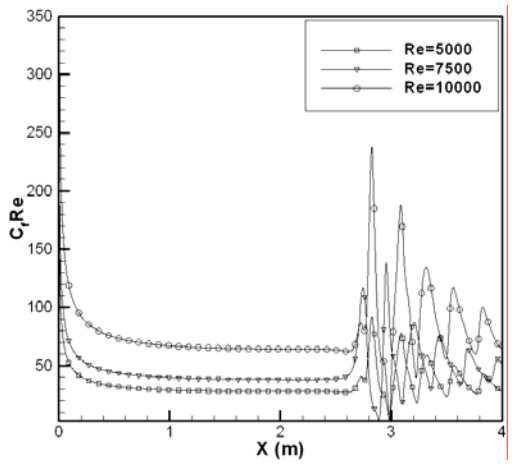


(b)

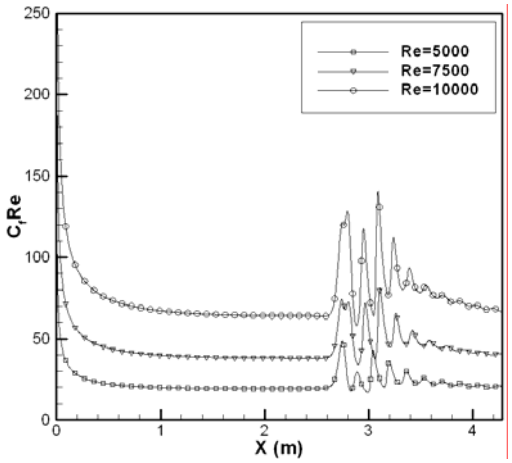


(c)

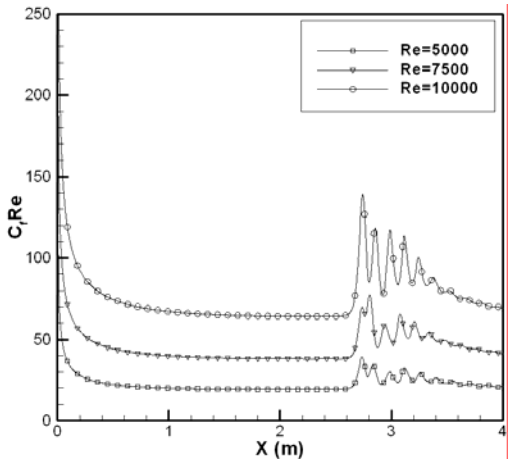
Şekil 5.93. Tek üçgenler için kanal alt duvarı boyunca yüzey sürtünme katsayısı değişimleri, (a) B=15 mm, (b) B=20 mm, (c) B=25 mm.



(a)

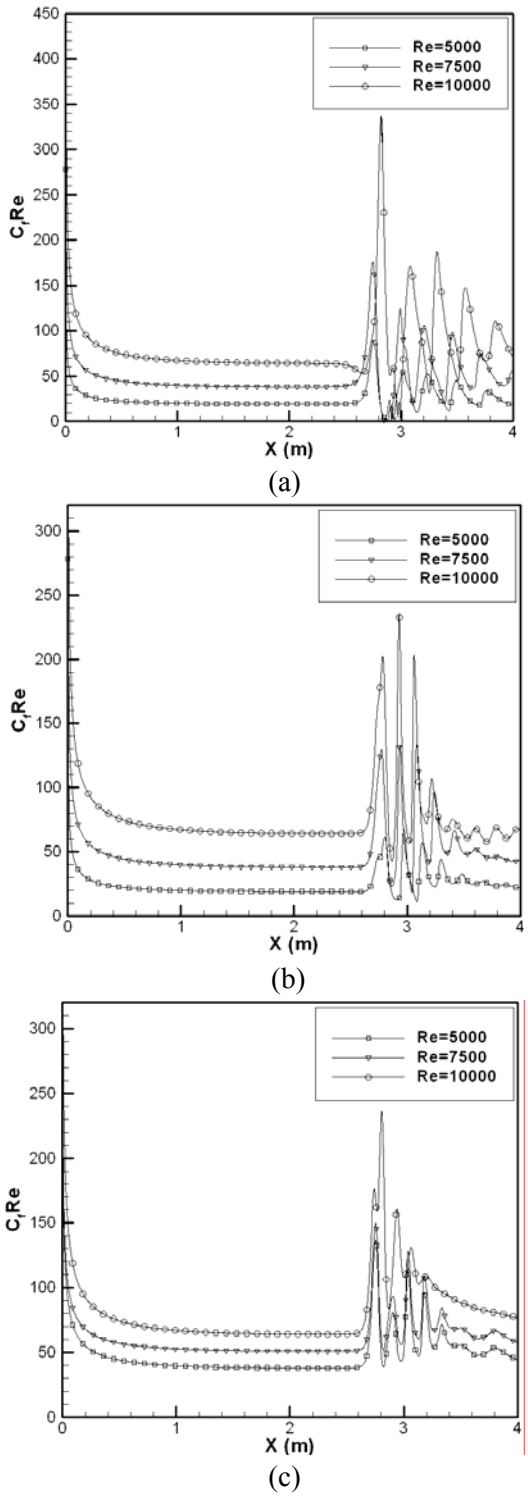


(b)

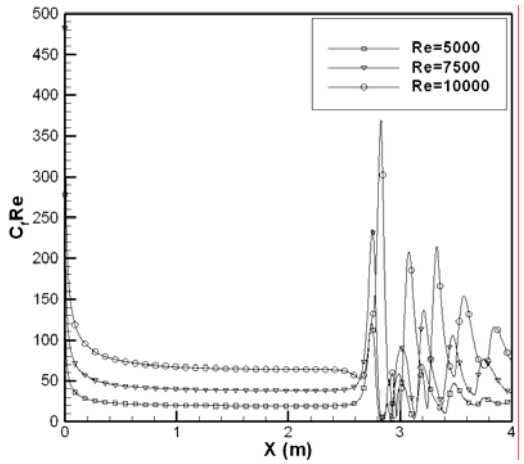


(c)

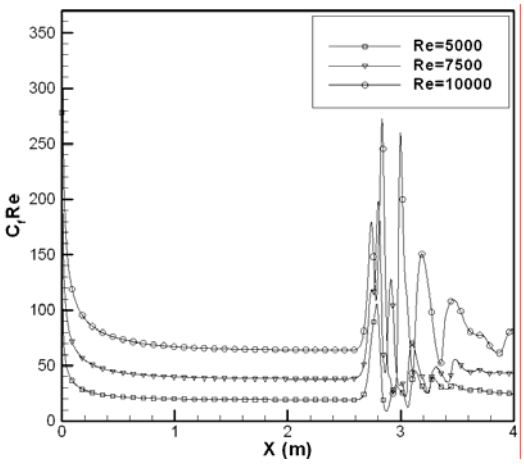
Şekil 5.94. B=15 mm durumunda üst üste üçgenler için kanal alt duvarı boyunca yüzey sürtünme katsayısı değişimleri, (a) W/B=0, (b) W/B=0.5, (c) W/B=1.



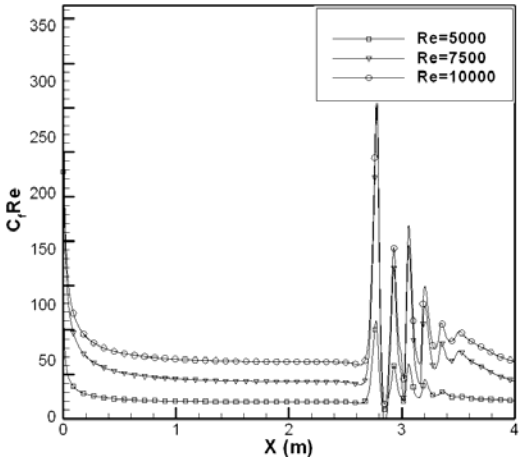
Şekil 5.95. B=20 mm durumunda üst üste üçgenler için kanal alt duvarı boyunca yüzey sürtünme katsayısı değişimleri, (a) W/B=0, (b) W/B=0.5, (c) W/B=1.



(a)



(b)



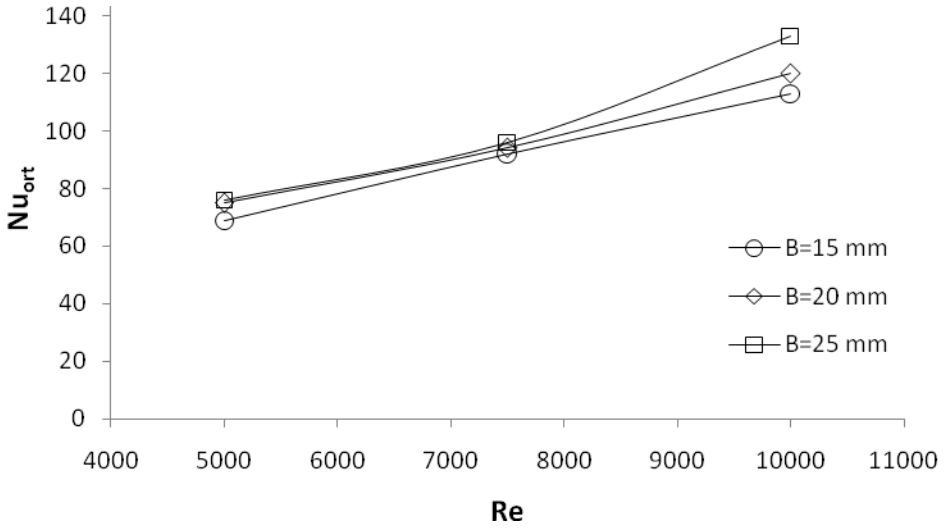
(c)

Şekil 5.96. B=25 mm durumunda üst üste üçgenler için kanal alt duvarı boyunca yüzey sürtünme katsayısı değişimleri, (a) W/B=0, (b) W/B=0.5, (c) W/B=1.

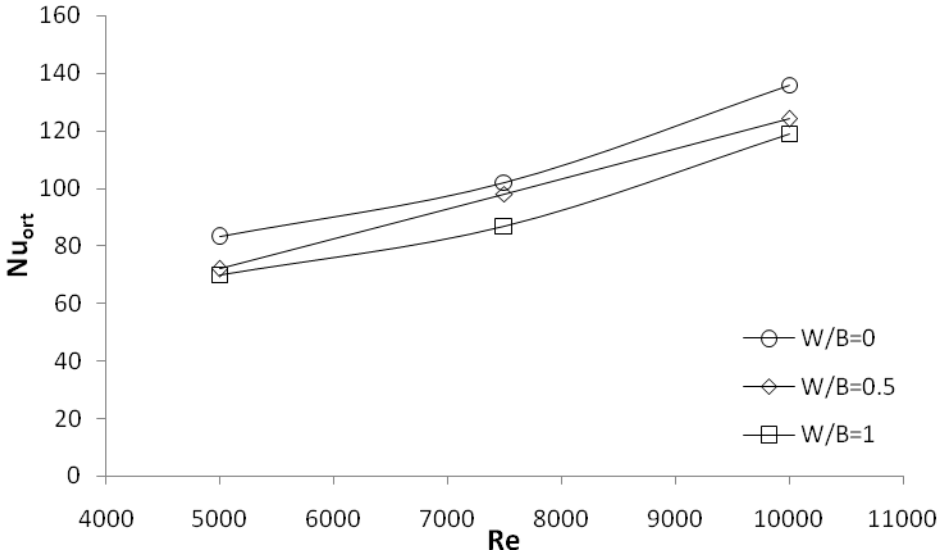
5.7. Isı Transferi İyileştirmesi

Kanal alt cidarı boyunca ortalama Nusselt sayılarının Reynolds sayısı ile değişimleri Şekil 5.97-5.100'de gösterildiği gibidir. Önceki bölümde açıklandığı gibi Nusselt sayısının Reynolds sayısındaki artışla artacağı beklenilen bir durumdur. Üçgenlerin tek yerleştirilmeleri durumunda en yüksek Nusselt sayısı B=25 mm durumu ve Re=10.000'de elde edilmiştir. Üst üste yerleştirme durumunda ise en yüksek Nusselt sayısı B=25 mm, W/B=0 ve Re=10.000 de yakalanmıştır.

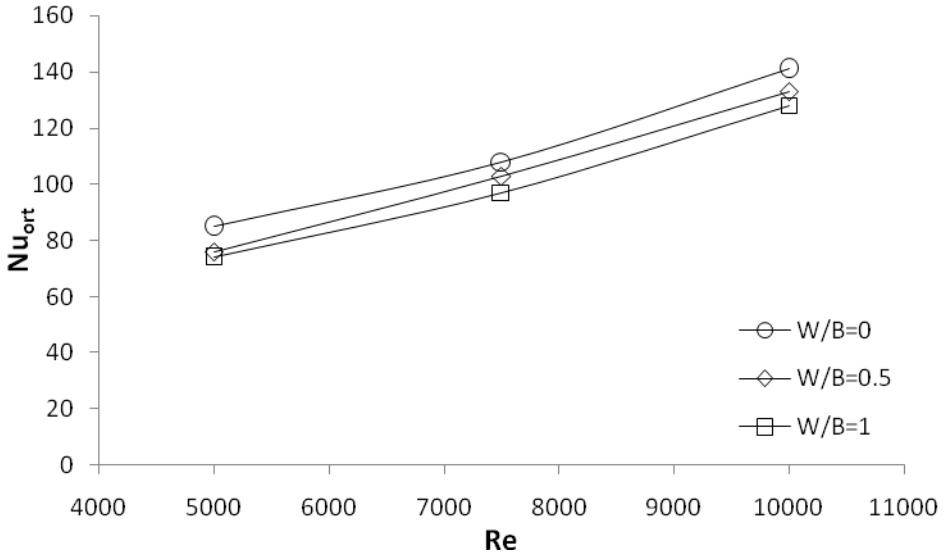
Şekil 5.100-5.104'de üçgen elemanların yerleştirilmeleri ile kanal alt duvarı boyunca ortalama yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısıyla değişimi verilmiştir. Bütün durumlarda Reynolds sayısının artışı ile yüzey sürtünme katsayısı azalmaktadır. Küt üçgen silindirlerin tek yerleştirilmeleri durumunda en düşük yüzey sürtünme katsayısı B=15 mm durumunda sağlanırken, üçgen silindirlerin üst üste yerleştirilmeleri halinde B=15 mm, W/B=1 ve Re=10.000 de elde edilmiştir.



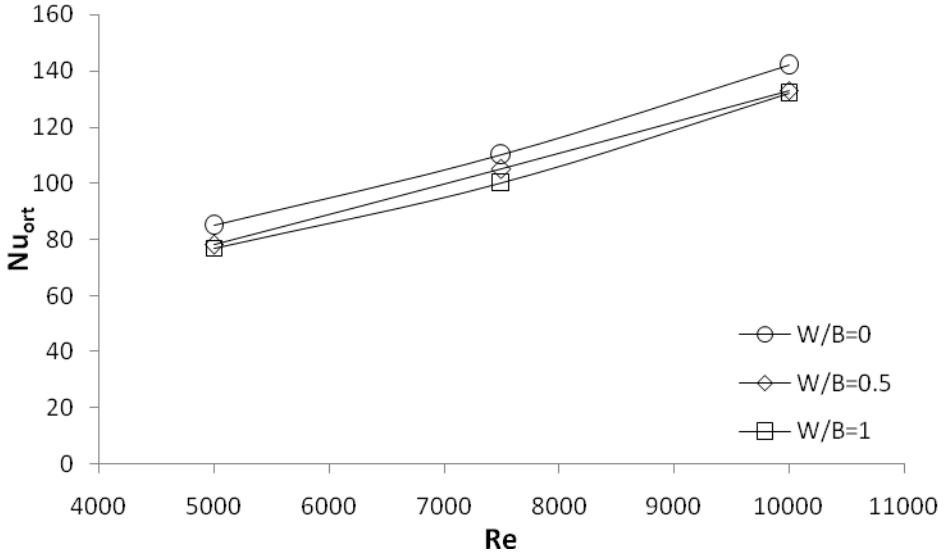
Şekil 5. 97. Tek üçgenlere ait ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısıyla değişimi.



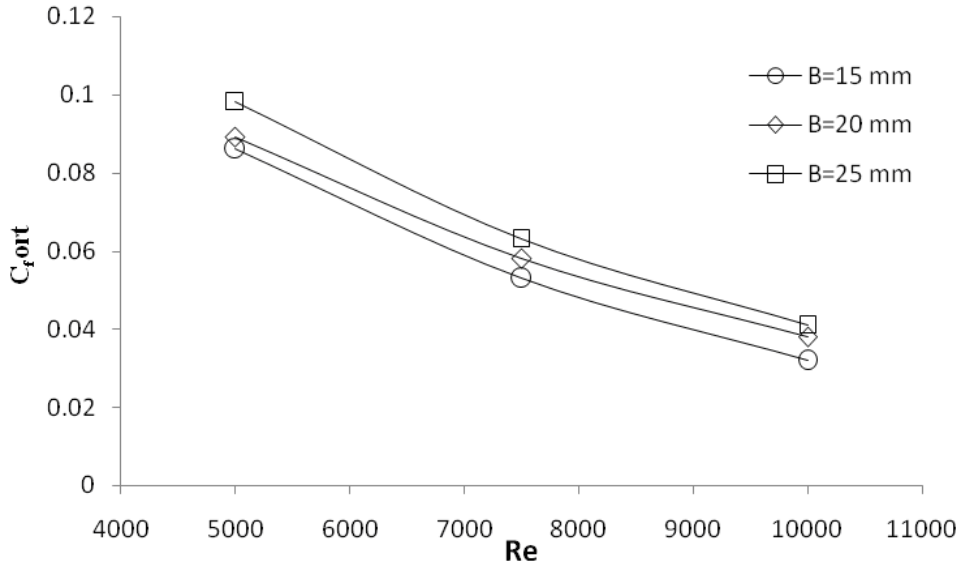
Şekil 5. 98. B=15 mm durumu için üst üste üçgenlere ait ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısıyla değişimi.



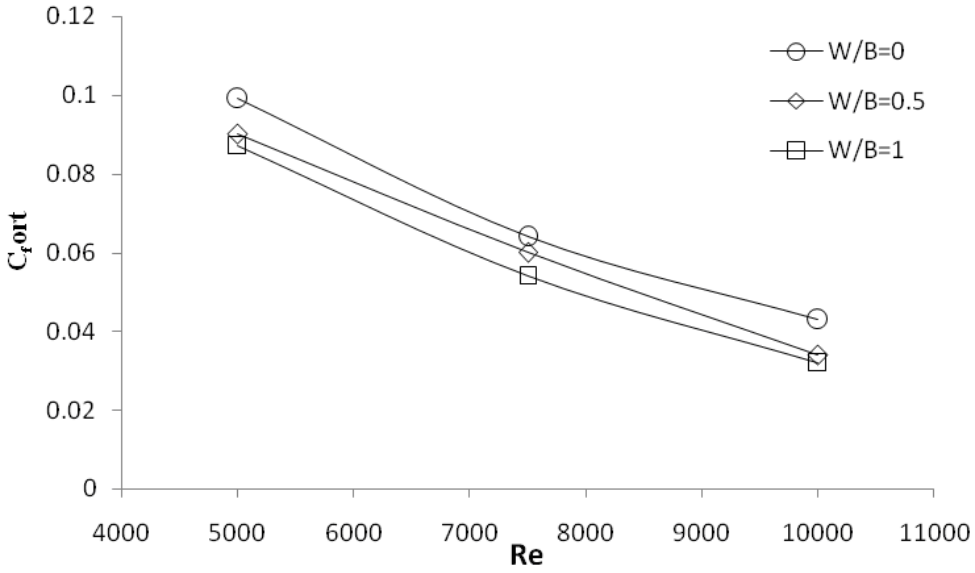
Şekil 5. 99. B=20 mm durumu için üst üste üçgenlere ait ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısıyla değişimi.



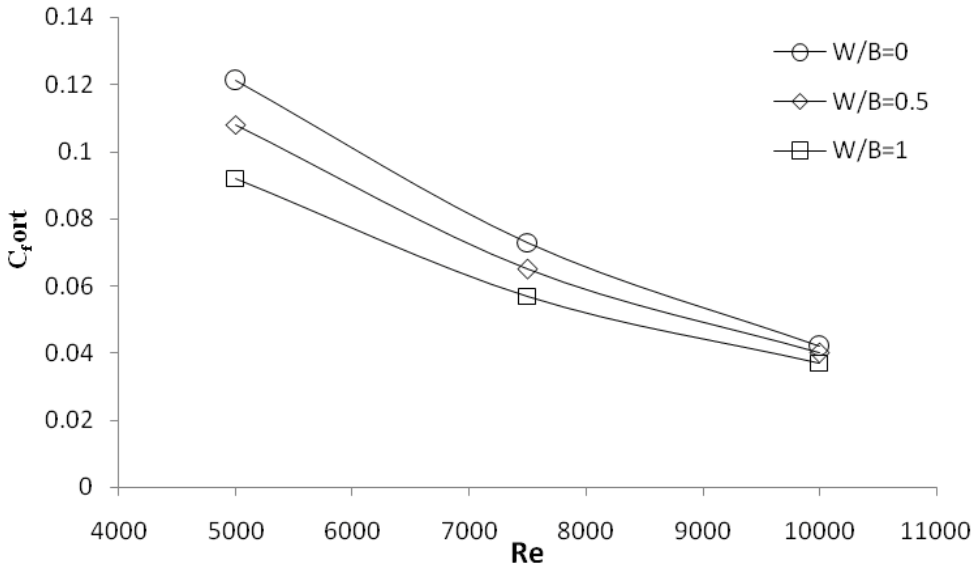
Şekil 5. 100. B=25 mm durumu için üst üste üçgenlere ait ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısıyla değişimi.



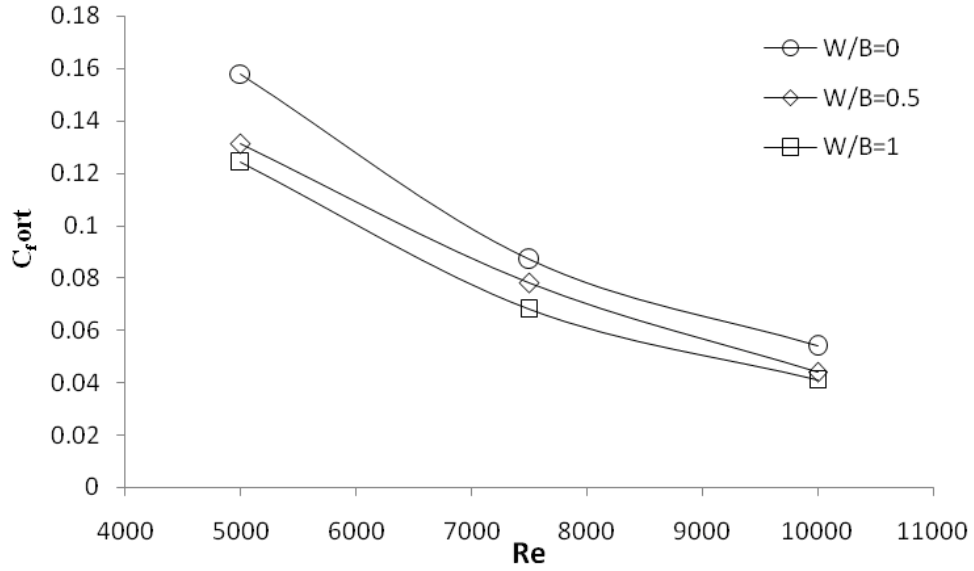
Şekil 5. 101. Tek üçgenlere ait ortalama yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısıyla değişimi.



Şekil 5. 102. B=15 mm durumu için üst üste üçgenlere ait ortalama yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısıyla değişimi.



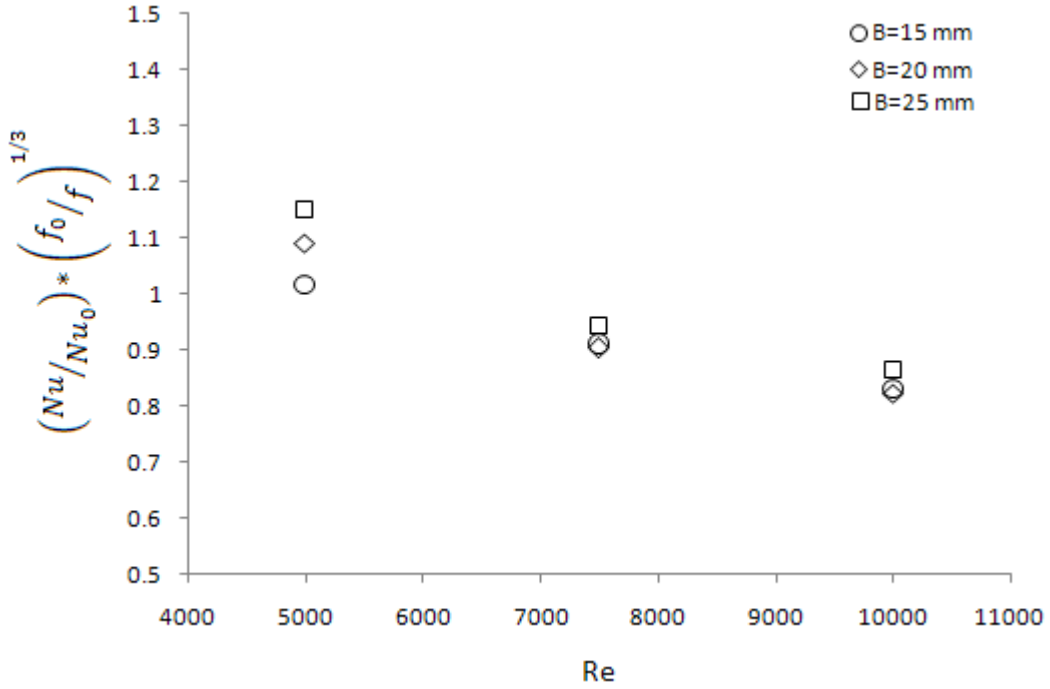
Şekil 5. 103. B=20 mm durumu için üst üste üçgenlere ait ortalama yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısıyla değişimi.



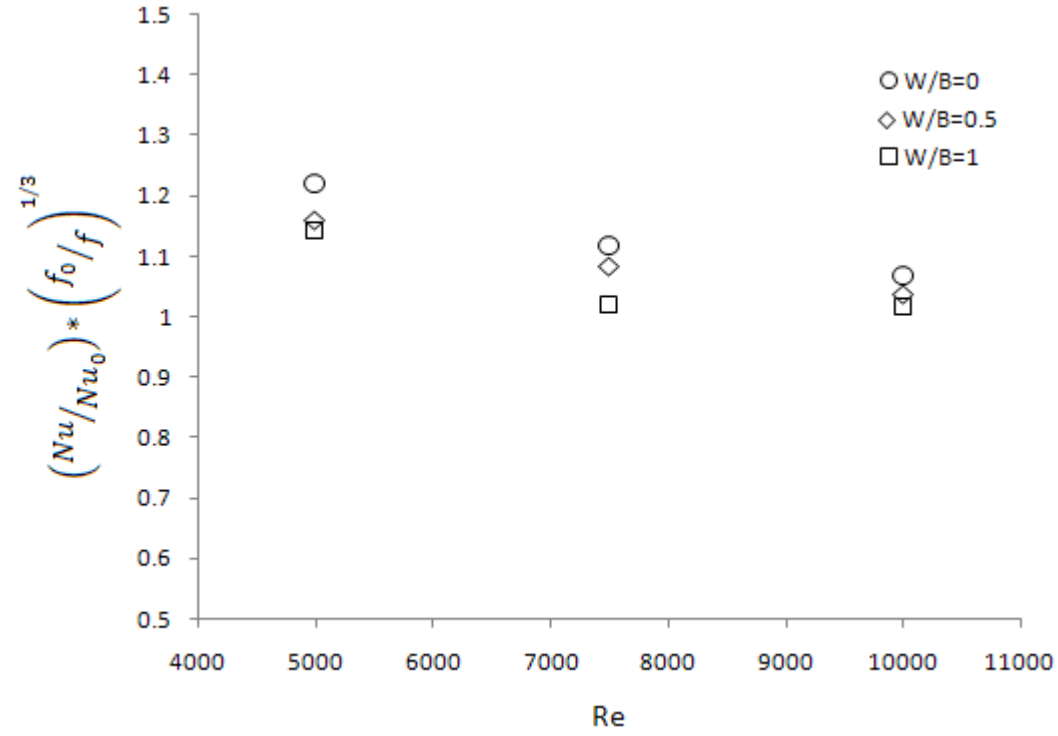
Şekil 5. 104. B=25 mm durumu için üst üste üçgenlere ait ortalama yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısıyla değişimi.

İncelenen sistemde ısı transferi iyileştirmesi bütün durumlar için Şekil 5.105-5.108'de sunulmuştur. Sunulan grafiklerde ısı transferi iyileştirmesinin daha iyi anlaşılabilmesi için iyileştirme eksenin 0.5 den başlayıp 1.5 e kadar iki aralıkta verilmiştir. Hesaplama neticesine elde edilen sonuçlardan 1'in üzerinde olan durumlar için ısı transferi iyileştirmesinin sağlandığı aksi takdirde sağlanamadığı belirlenmiştir. Isı transferinde iyileştirmenin sağlanıp sağlanamadığını belirleyebilmek için aynı şartlarda boş kanala ait Nusselt sayısı ve sürtünme katsayısının bilinmesi gerekir. Bu çalışmada boş kanal ait Nusselt sayısı ve yüzey sürtünme katsayısına ait değerler üçgen elemanların yerleştirilmediği durumda aynı akış şartlarında sayısal çözümler sonucunda hesaplanmıştır.

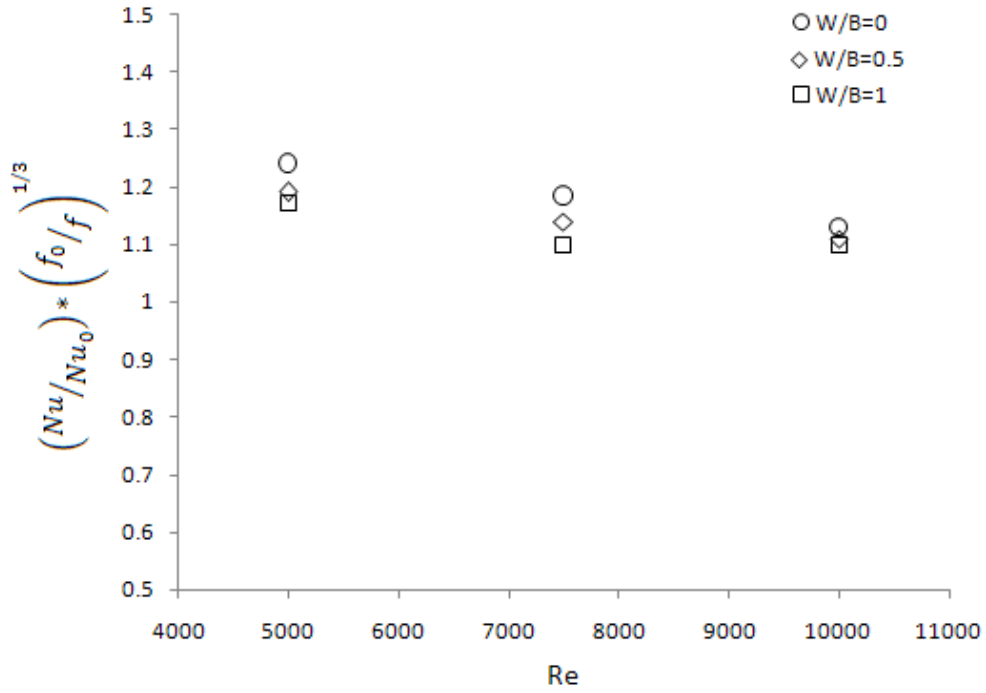
Tek üçgen düzenlemesinde her üç kenar uzunluğu için ısı transferi iyileştirmesi yalnızca Re=5.000'de sağlanırken Re=7.500 ve Re=10.000'de iyileştirme sağlanamamıştır. Bu düzenleme için en yüksek iyileştirme B=25 mm durumunda sağlanmıştır. Üst üste düzenleme durumu için en düşük ısı transferi iyileştirmesi B=15 mm, W/B=1 Re=10.000 de meydana gelmiştir. İkili düzenlemeler durumunda en yüksek ısı transferi iyileştirmesi B=25 mm, W/B=0 ve Re=5.000 de elde edilmiştir.



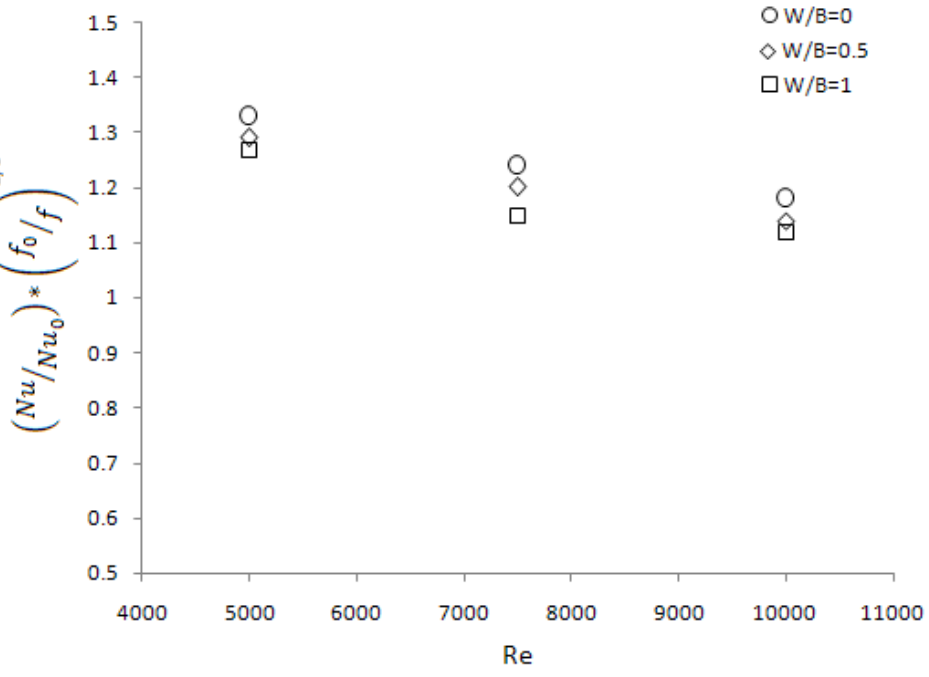
Şekil 5.105. Tek üçgenlerde ısı transferi iyileştirmesinin Reynolds sayısıyla değişimi.



Şekil 5.106. B=15 mm üst üste üçgenlerde ısı transferi iyileştirmesinin Reynolds sayısıyla değişimi.



Şekil 5.107. B=20 mm üst üste üçgenlerde ısı transferi iyileştirmesinin Reynolds sayısıyla değişimi.



Şekil 5.108. B=25 mm üst üste üçgenlerde ısı transferi iyileştirmesinin Reynolds sayısıyla değişimi.

6. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sunulan bu tez çalışmasında kanal içerisine yerleştirilmiş eşkenar üçgen silindirlerin ısı transferi ve akış karakteristikleri üzerine etkileri parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği ile deneysel ve RNG k-ε yöntemi ile sayısal olarak araştırılmıştır. Kanal içerisine önce tek, sonra da üçgenlerin üst üste ikili kombinasyonları halinde yerleştirilen üçgen küt cisimlere ait akış karakteristikleri sayısal ve deneysel hız dağılımları, akım çizgileri, hız vektörleri ve Strouhal sayısı değişimleri elde edilerek incelenmiştir. Küt cisimler yerleştirilmesi neticesinde meydana gelen ısı transferi karakteristikleri ise sıcaklık kontürleri, yerel ve ortalama Nusselt sayısı, yerel ve ortalama yüzey sürtünme katsayıları ve ısı transferi iyileştirme oranları yardımıyla analiz edilmiştir. Üç farklı kenar uzunluğuna (B=15 mm, B=20 mm ve B=25 mm) sahip eşkenar üçgenleri üst üste yerleştirilmeleri durumunda üç farklı blokaj oranı (W/B=0, W/B=0.5 ve W/B=1) için Re=5.000, Re=7.500 ve Re=10.000'de yürütülen çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

B=15 mm için Re=5.000'de iz bölgesi akışı daha hızlı gelişmekte, Re=7.500'de biraz daha yavaş, Re=10.000'de daha yavaş gelişmektedir. Benzer şekilde, B=20 mm olması durumunda cisim arka bölge yüksekliği arttığı için iz bölgesi toparlanması B=15 mm durumuna göre daha yavaş, B=25 mm durumuna göre ise daha yüksektir. Ancak, iz bölgesi akış hızının gelişmesinde B=20 ve B=25 mm durumlarının Reynolds sayısı ile sergilediği ilişki B=15 mm durumundaki ile aynıdır.

W/B=0 yani cisimler arasında boşluk olmadığı durumda durma noktasında her iki üçgenin uç noktalarında hızlar sıfır olmakta iken, uç noktalar arasında hızın değerinde bir miktar artış gözlenmiştir. Burada önemli hususlardan biri cisimler arasında boşluk akışı (gap flow)

olmadığı için üçgen elemanlar bütünleşik bir davranış sergilemekte, sanki tek bir küt cisim varmış gibi davranmaktadırlar.

Artan iz bölgesi yüksekliği ile geri bölgede akışın gelişme hızı azalmaktadır. Bir sıralama yapmak gerekirse; 50 mm iz bölgesi yüksekliği için en düşük gelişme hızı, 40 mm için biraz daha fazla, 30 mm için daha fazla olmaktadır. Bu sıralamaya tek üçgenler de dahil edilirse, en yüksek art iz bölgesi akışı gelişme hızının 15 mm yükseklik için elde edileceği aşikardır.

Tek üçgen düzenlemesinde özellikle cisim boyutlarının büyümesiyle birbirinin neredeyse aynı büyüklükte ve kanal eksenine göre simetrik iki ayrı girdap alanı oluşmaktadır. B=15 ve B=20 mm için, cisim art iz bölgesinin küçük olmasından dolayı önemli bir durumla karşılaşılmaktadır. Cisimlerin üst bölgesinden ayrılan vektörler ile alt bölgesinden ayrılan vektörler birbirlerine karışmakta ve biri büyük diğeri küçük iki ayrı girdap alanı oluşmaktadır.

Reynolds sayılarının girdap oluşlum uzunluğuna önemli ölçüde etkisinin olduğu görülmüştür. Özellikle yüksek Reynolds sayılarında iz bölgesinin daha ileri noktalarında da ayrılmalar gerçekleşmektedir. Meydana gelen bu ayrılmalar girdap oluşum uzunluğunun artmasına, Reynods sayısı azaldıkça azalmasına neden olacaktır.

W/B=0 olduğu durumda cisimler arasında çarpmadan sonra geri akış (reversed flow) bölgeleri oluşmaktadır.

W/B=0.5 blokaj oranında küt cisimler arasındaki mesafe küçük olduğundan jet akışı oluşmaktadır. Cisimler arasında daha dar bir kesitten geçen akışkanın hızı artmakta bu sebepten dolayı yüksek hızlı vektörler cisimlerin arkasında iki cismin birinden ayrılan vektörlerle daha yakın bir bölgede yeniden birleşmektedir (re-attachment). Anlatılan bu hadise akışın bir bölgeye yakınlaşmasına (pulling up) yol açmakta ve üçgen elemanların arkasında simetrik olmayan girdap alanları ve akış desenlerinin oluşumuna neden olmaktadır.

W/B=1 blokaj durumunda cisimler arkasında nerdeyse simetrik akış desenleri oluşmaktadır. Cisimler arası etkileşim bütün Reynolds sayılarında W/B=0.5 blokaj oranına göre daha azdır. Daha az etkileşim de birbirinden neredeyse bağımsız iki ayrı küt cisim davranışına yol açmaktadır.

B=15 mm durumunda ısıl sınır tabakanın fazla rahatsız edilememesinden dolayı Nusselt sayısı çok fazla artmamakta, ancak kenar uzunluğu 25 mm olan üçgende B=15 ve 20 mm durumlarına göre daha fazla artmaktadır. Ancak aynı kenar uzunluğunda fakat üst üste yerleştirilmeleri durumunda Nusselt sayısı daha fazla artmaktadır.

Üst üste düzenlemelerde, cisimler arasında boşluk olmadığı durumda daha fazla ısı transferi sağlanmaktadır. Nusselt sayısı W/B=0.5 olması halinde hiç boşluk olmadığı duruma göre daha az artmış boşluğun daha da artmasıyla (W/B=1) artış miktarı azalmıştır.

Üçgenlerin tek yerleştirilmeleri durumunda en yüksek Nusselt sayısı B=25 mm durumu ve Re=10.000'de elde edilmiştir. Üst üste yerleştirme durumunda ise en yüksek Nusselt sayısı B=25 mm, W/B=0 ve Re=10.000 de yakalanmıştır.

Küt üçgen silindirlerin tek yerleştirilmeleri durumunda en düşük yüzey sürtünme katsayısı B=15 mm durumunda sağlanırken, üçgen silindirlerin üst üste yerleştirilmeleri halinde B=15 mm, W/B=1 ve Re=10.000 de elde edilmiştir.

Tek üçgen düzenlemesinde her üç kenar uzunluğu için ısı transferi iyileştirmesi yalnızca Re=5.000'de sağlanırken Re=7.500 ve Re=10.000'de iyileştirme sağlanamamıştır. Bu düzenleme için en yüksek iyileştirme B=25 mm durumunda sağlanmıştır.

Üst üste düzenleme durumu için en düşük ısı transferi iyileştirmesi B=15 mm, W/B=1 Re=10.000 de meydana gelmiştir. İkili düzenlemeler durumunda en yüksek ısı transferi iyileştirmesi B=25 mm, W/B=0 ve Re=5.000 de elde edilmiştir.

Sonraki çalışmalarda, blokaj oranları artırılarak cisimler etrafındaki ısı ve akış karakteristikleri araştırılabilir. Ayrıca, üçgen elemanların sayısı artırılarak üçlü ve dörtlü

kombinasyonlarının etkileri incelenebilir. Farklı kenar uzunluğuna sahip üçgenlerin ikili üçlü ve dörtlü düzenlemeleri de ayrıca araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Ozgoren, M., Flow Structure in the Downstream of Square and Circular Cylinders, Flow Measurement and Instrumentation, 17: 225–235, 2006.

2. Sahin, B., Ozturk, N. A. and Akilli, H., Horseshoe Vortex System in the Vicinity of the Vertical Cylinder Mounted on a Flat Plate, Flow Measurement and Instrumentation, 18: 57–68, 2007.

3. Zhang, X. and Perot, B., Turbulent Vortex Shedding from Triangle Cylinder Using the Turbulent Body Force Potential Model, Proceedings of ASME FEDSM'00, 11-15 Haziran, 2000, Boston, Massachusetts.

4. Ünal, U.O. ve Gören, Ö., Girdap Yaratıcıların Dairesel Silindir Etrafındaki Akışa Etkisi, İ.T.Ü. Mühendislik Dergisi, 8 (1):61-72, 2009.

5. Turan, O., Geçirgen Yüzeylerinden Düzgün Üfleme veya Emme Yapılan Dikdörtgen Kesitli Model Etrafındaki İki Boyutlu Türbülanslı Akışın Sayısal İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2007.

6. Öner, A. A., Dairesel Kesitli Yatay Elemanlar Etrafındaki Akımın Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2007.

7. Akçadırcı, E., Dairesel Silindir Etrafındaki Akım Parametrelerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2006.

8. Sarıoğlu, M., Küt Cisimler Aerodinamiği ve Vorteks-Shedding Olayının Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 1997.

9. Ünal, U.O., Girdap Yaratıcıların Dairesel Silindir Etrafındaki Akışa Etkisinin Deneysel ve Hesaplamalı Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2007.

10. Akansu, Y.E., Ardışık Olarak Yerleştirilen Farklı Geometrilere Sahip Küt Cisimlerin Aerodinamik Karakteristiklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, (2004).

11. Yıldırım, İ., Kanat Profili-Silindir İz Bölgesi Etkileşimlerinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2006.

12. Zheng, T., Tang, S. K. and Fei, B., On the Forces and Strouhal Numbers in the Low Reynolds Number Wakes of Two Cylinders in Tandem, No. 07-CSME-49, E.I.C. Accession 3018, 2009.

13. Havel, B., Hangan, H. and Martinuzzi, R., Buffeting for 2D and 3D sharp-edged bluff bodies, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 89: 1369–1381, 2001.

14. Martinuzzi, R. and Havel, B., Turbulent Flow Around Two Interfering Surface-Mounted Cubic Obstacles in Tandem Arrangement, Transactions of ASME, 24/122, 2000.

15. Deng, J., Ren, A-L., Zou, J-F and Shao, X-M., Three-dimensional Flow Around Two Circular Cylinders in Tandem Arrangement, Fluid Dynamics Research, 38: 386–404, 2006.

16. Alam, M. and Sakamato, H., Investigation of Strouhal Frequencies of Two Staggered Bluff Bodies and Detection of Multistable Flow by Wavelets, Journal of Fluids and Structures, 20: 425–449, 2005.

17. Paul, S. S., Tachie, M. F. and Ormiston, S. J., Experimental Study of Turbulent Cross-Flow in a Staggered Tube Bundle Using Particle İmage Velocimetry, International Journal of Heat and Fluid Flow 28: 441–453, 2007.

18. Chen, L., Tu, Y. J. and Yeoh, G. H., Numerical Simulation of Turbulent Wake Flows BehindTwo Side-By-Side Cylinders, Journal of Fluids and Structures 18: 387–403, 2003.

19. Kun, L., Dong-jun, M., De-jun, S. and Xie-yuan, Y., Wake Patterns of Flow Past a Pair of Circular Cylinders in Side-By-Side Arrangements at Low Reynolds Numbers, Journal of Hydrodynamics, 19(6):690-697, 2007.

20. Du. Y., Qian, R. and Peng, S., Coherent Structure in Flow over a Slitted Bluff Body, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation 11: 391–412, 2006.

21. Meneghini, J. R., Saltara, F., Siqueira, C. L. R. and Ferrari J. A., Numerical Simulation of Flow Interference Between Two Circular Cylinders in Tandem and Side-By-Side Arrangements, Journal of Fluids and Structures, 15: 327-350, 2001.

22. Akosile, O. O. and Sumner, D., Staggered Circular Cylinders İmmersed in a Uniform Planar Shear Flow, Journal of Fluids and Structures, 18: 613–633, 2003.

23. Sumner, D. and Richards, M. D., Some Vortex-Shedding Characteristics of The Staggered Configuration of Circular Cylinders, Journal of Fluids and Structures, 17: 345–350, 2003.

24. Gu, Z. and Sun, T., On İnterference Between Two Circular Cylinders in Staggered Arrangement at High Subcritical Reynolds Numbers, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 80: 287-309, 1999.

25. Gu, Z. and Sun, T., Classifications of Flow Pattern on Three Circular Cylinders in Equilateral-Triangular Arrangements, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 89: 553–568, 2001.

26. Lam, K., Li, J. Y., Chan, K. T. and So, R. M. C., Flow Pattern and Velocity Field Distribution of Cross-Flow Around Four Cylinders in a Square Configuration at a Low Reynolds Number, Journal of Fluids and Structures, 17: 665–679, 2003.

27. Leclercq, D. J. J. and Doolan, C. J., The Interaction of a Bluff Body with a Vortex Wake, Journal of Fluids and Structures, 25: 867–888, 2009.

28. Yavuz, T., Akansu, Y. E., Sarıoğlu, M. and Özmert, M., Vortex Shedding on Combined Bodies at Incidence to a Uniform Air Stream, World Academy of Science, Engineering and Technology, 53: 1095-1099, 2009.

29. FLUENT 6.1.22, Fluent Incorporated, Centerra Resource Park, 10, Cavendish Court, Lebanon, NH 03766, USA, 2001.

30. Dantec Dynamics, 2D PIV Reference Manual, Skovlunde, Denmark, 2006.

31. Rosales, J. L., Ortega, A. and Humphrey, J. A. C., A Numerical Simulation of the Convective Heat Transfer in Confined Channel Flow Past Square Cylinders: Comparison of İnline and Offset Tandem Pairs, International Journal of Heat and Mass Transfer, 44: 587-603, 2001.

32. Abbassi, H., Turki, S. and Nasrallah, S.B., Numerical ınvestigation of Forced Convection in a Plane Channel with a Built-in Triangular Prism, International Journal of Thermal Sciences, 40: 649-658, (2001).

33. Sripattanapipat, S. and Promvonge, P., Numerical Analysis of Laminar Heat Transfer in a Channel with Diamond-Shaped Baffles, International Communications in Heat and Mass Transfer, 36: 32–38, 2009.

34. Chattopadhyay, H., Augmentation of Heat Transfer in a Channel using Triangular Prism, International Journal of Thermal Sciences, 46: 501-505, 2007.

35. Chatterjee, D., Biswas, G. and Amiroudine, S., Numerical Investigation of Forced Convection Heat Transfer in Unsteady Flow Past a Row of Square Cylinders, International Journal of Heat and Fluid Flow, 30: 1114–1128, 2009.

36. Hanafi, A. S., El-Sayed, S. A. and Mostafa, M. E., Fluid Flow and Heat Transfer Around Circular Cylinder – Flat and Curved Plates Combinations, Experimental Thermal and Fluid Science, 25: 631–649, 2002.

37. Velayati, E. and Yaghoubi, M., Numerical Study of Convective Heat Transfer from an Array of Parallel Bluff Plates, International Journal of Heat and Fluid Flow, 26: 80–91, 2005.

38. Hemida, H., Spehr, F. and Krajnovic, S., Local Heat Transfer Enhancement Around a Matrix of Wall-Mounted Cubes Using Passive Flow Control: Large-Eddy Simulations, International Journal of Heat and Fluid Flow, 29: 1258–1267, 2008.

39. Bhattacharyya, S. and Singh, A. K., Vortex Shedding and Heat Transfer Dependence on Effective Reynolds Number for Mixed Convection Around a Cylinder in Cross Flow, International Journal of Heat and Mass Transfer, 53: 3202–3212, 2010.

40. Bharti, R. P., Chhabra, R. P. and Eswaran, V., Steady Forced Convection Heat Transfer from a Heated Circular Cylinder to Power-Law Fluids, International Journal of Heat and Mass Transfer, 50: 977–990, 2007.

41. Igarashi, T. and Mayumi, Y., Fluid Flow and Heat Transfer Aroun a Rectangular Cylinder with Small Inclined Angle., International Journal of Heat and Fluid Flow., 22: 279-286, 2001.

42. Juncu, G., A Numerical Study of Momentum and Forced Convection Heat Transfer Around Two Tandem Circular Cylinders at Low Reynolds Numbers. Part II: Forced Convection Heat Transfer, International Journal of Heat and Mass Transfer, 50: 3799–3808, 2007.

43. Mahir, N. and Altaç, Z., Numerical Investigation of Convective Heat Transfer in Unsteady Flow Past Two Cylinders in Tandem Arrangements, International Journal of Heat and Fluid Flow, 29: 1309–1318, 2008.

44. Meinders, E. R. and Hanjalic, K., Experimental Study of the Convective Heat Transfer form In-line and Staggered Configurations of Two Wall-Mounted Cubes, International Journal of Heat and Mass Transfer, 45: 465-482, 2002.

45. Nakamura, H., Igarashi,T. and Tsutsui, T., Local Heat Transfer Around a Wall-Mounted Cube at 45^{o} to Flow in a Turbulent Boundary Layer, International Journal of Heat and Fluid Flow, 24: 807–815, 2003.

46. Turki, S., Abbassi, H. and Nasrallah, S. B., Two-Dimensional Laminar Fluid Flow and Heat Transfer in a Channel with a Built-in Heated Square Cylinder, International Journal of Thermal Sciences, 42: 1105–1113, 2003.

47. Evin, D. ve Tanyıldızı, V., Tabanı Kısmi Olarak Isıtılan Yatay Bir Kanalda Akışa Dik Engellerin Isı Transferi Üzerine Etkileri, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi,18(2),249-255,2006.

48. Valencia, A. and Cid, M., Turbulent Unsteady Flow and Heat Transfer in Channels With Periodically Mounted Square Bars, International Journal of Heat and Mass Transfer, 45, 1661–1673, 2002.

49. Paramane, B. S. and Sharma, A., Numerical Investigation of Heat and Fluid Flow across a Rotating Circular Cylinder Maintained at Constant Temperature in 2-D Laminar Flow Regime, International Journal of Heat and Mass Transfer, 52, 3205–3216, 2009.

ÖZGEÇMİŞ

Eyüphan MANAY 1985 yılında Erzurum'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Erzurum'da tamamladı. 2003 yılında kazandığı Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2007 yılında fakülte birincisi olarak mezun oldu. Aynı yıl içinde Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisansa başlayarak araştırma görevlisi olarak göreve atandı. Yüksek lisans öğrenimine Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde devam etti. Eyüphan MANAY bekar olup Bayburt Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak akademik hayatına devam etmektedir.

Adres : Bayburt Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü
69000-Bayburt
Tel : 0 458 2111153 (3204)
Fax : 0 458 2111172
e-posta: emanay@bayburt.edu.tr